

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA**

ANA BEATRIZ DE CÁSSIA MARIANO

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA
SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE RADIOLOGIA
CONVENCIONAL**

São José dos Campos, SP

2021

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA**

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA
SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE RADIOLOGIA
CONVENCIONAL**

Aluno: Ana Beatriz de Cássia Mariano

Orientador: Prof. Dr. Matheus Cardoso
Moraes

Monografia apresentada ao Instituto de
Ciência e Tecnologia da Universidade
Federal de São Paulo como requisito
parcial para obtenção do título de
Graduação em Engenharia Biomédica.

São José dos Campos, SP

2021

Na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei de direitos autorais nº 9610/98, autorizo a publicação livre e gratuita desse trabalho no Repositório Institucional da UNIFESP ou em outro meio eletrônico da instituição, sem qualquer ressarcimento dos direitos autorais para leitura, impressão e/ou download em meio eletrônico para fins de divulgação intelectual, desde que citada a fonte.

Elaborado por sistema de geração automática com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Mariano, Ana Beatriz de Cássia

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE RADIOLOGIA CONVENCIONAL/ Ana Beatriz de Cássia

Mariano

Orientador(a) Matheus Cardoso de Moraes-São José dos Campos, 2021.

81 p.

Trabalho de Conclusão de Curso-Engenharia Biomédica-Universidade Federal de São Paulo-Instituto de Ciência e Tecnologia, 2021.

1. Engenharia Clínica. 2. Substituição de Equipamentos. 3. Equipamentos de Raios-X. I. Moraes, Matheus Cardoso de, orientador(a). II. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Ana Beatriz de Cássia Mariano

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE RADIOLOGIA CONVENCIONAL

Monografia apresentada ao Instituto de
Ciência e Tecnologia da Universidade
Federal de São Paulo como requisito
parcial para obtenção do título de
Graduação em Engenharia Biomédica.

Prof. Dr. Matheus Cardoso Moraes
Orientador

Prof. Dr. Roberson Saraiva Polli
Universidade Federal de São Paulo

Prof. Dr. Carlos Marcelo Gurjão de Godoy
Universidade Federal de São Paulo

São José dos Campos, SP

2021

DEDICATÓRIA

À luz da minha vida, Pedro Henrique.

AGRADECIMENTOS

Este é o passo final da longa e árdua jornada dos últimos anos. Hoje realizo meu sonho de criança, e essa conquista só foi possível graças ao apoio incondicional das pessoas que me cercam. A elas, toda a minha gratidão:

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pela sustentação e por ouvir e atender às minhas preces.

À minha mãe, Fátima, por me ensinar a nunca desistir e por ter feito do impossível possível para que esse dia chegasse.

Ao meu pai, Adauto, que mesmo com os constantes desafios da vida nunca deixou de lutar comigo pelo meu sonho.

Ao meu irmão, Pedro, minha maior saudade, minha maior vontade de voltar para casa, minha luz, meu guia, minha força. Tudo é por você, e mesmo sem saber ou entender você foi minha energia e ânimo para vencer.

À minha amiga e incentivadora, Bárbara. Trilhamos esse caminho juntas, compartilhando os dias bons, os ruins e superando os deltas. Você é um presente da graduação para a vida.

“Coragem, filha. A tua fé te salvou!”

(Mt 9,22)

RESUMO

O processo decisório sobre a substituição de um Equipamento Médico-Hospitalares envolve a análise e estudo de inúmeras variáveis. Nos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS) o tema é delicado, pois a substituição impacta diretamente o poder de diagnóstico de um equipamento, além dos impactos financeiros e imagem de sua empresa mantedora.

Fica a cargo do Engenheiro Clínico, profissional responsável pela gestão dos equipamentos médico-hospitalares, a análise e tomada de decisão, com a iminência de conciliar os recursos financeiros e humanos disponíveis com as tecnologias encontradas no mercado. Para isso devem ser analisadas questões acerca de todo ciclo de vida útil de um equipamento. O que envolve os custos de investimento inicial, custos e demandas operacionais e de manutenção em diversos cenários de operação do equipamento.

Diante disso, neste estudo são analisadas as variantes que estão envolvidas no processo de substituição de um equipamento e métodos para auxílio da tomada nova aquisição. Partindo da real necessidade da substituição, validada por meio da aplicação do método mais assertivo, que leva em consideração pontos qualitativos e quantitativo, é considerada a viabilidade financeira da nova aquisição.

Para análise da viabilidade financeira foi idealizada uma ferramenta que leva em consideração premissas sobre os valores do novo equipamento, condições de financiamento, custos e volumetria de exames. A partir desta foi possível determinar a viabilidade de um projeto.

O fluxo proposto foi aplicado em um estudo de caso de substituição de um equipamento de Raios-X, demonstrando a viabilidade da substituição por uma nova tecnologia.

Palavras-chave: Engenharia Clínica, Substituição de Equipamentos, Equipamentos de Raios-X

ABSTRACT

The decision-making process regarding the replacement of Medical-Hospital Equipment involves the analysis and study of numerous variables. In Health Assistance Establishments (EAS), the topic is delicate, as the replacement directly impacts the diagnostic power of equipment, in addition to the financial impacts and image of its maintenance company.

It is the responsibility of the Clinical Engineer, a professional responsible for the management of medical and hospital equipment, analysis and decision making, with the imminence of reconciling the financial and human resources available with the technologies found in the market. For that, questions about the entire life cycle of an equipment must be analyzed. This involves initial investment costs, operating and maintenance costs and demands in different equipment operation scenarios.

Therefore, in this study, the variants that are involved in the process of replacing equipment and methods to assist in making a new acquisition are analyzed. Based on the real need for substitution, validated through the application of the most assertive method, which takes into account qualitative and quantitative points, the financial viability of the new acquisition is considered.

To analyze the financial viability, a tool was devised that takes into account assumptions about the values of the new equipment, financing conditions, costs and volume of exams. From this it was possible to determine the feasibility of a project.

The proposed flow was applied in a case study to replace an X-ray equipment, demonstrating the feasibility of replacing it with a new technology.

Keywords: Clinical Engineering, Equipment Replacement, X-ray Equipment

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Radiografia da mão de Anna Bertha Roentgen, esposa de Wilhelm Conrad Roentgen, em 1895.....	17
Figura 2 - Espectro Eletromagnético.	19
Figura 3 – Esquema do Tubo de Raios-X.	20
Figura 4 - Cúpula de Raios-X.	21
Figura 5 - Partes componentes de um cátodo.....	22
Figura 6 - Anodo rotatório de um tubo de Raios-X.	23
Figura 7 - Geração de Raios-X Característicos.....	24
Figura 8 - Geração de Raios-X de Freamento.	24
Figura 9 - Espectro de Raios-X.	25
Figura 10 - Equipamentos de Raios-X Fixo.....	26
Figura 11 - Visão Geral do equipamento de Raios-X.	27
Figura 12- Diagrama Tela-Filme.....	28
Figura 13 - Processo Formação Imagem Digital.	30
Figura 14 - Primeiro equipamento de Raios-X do país.....	31
Figura 15 - Radiografia realizada pelo Dr. Pires, 1898.....	32
Figura 16 - Ciclo de vida de um equipamento.	35
Figura 17 - Método Multiparamétrico.....	46
Figura 18 - Árvore de Eventos.....	48
Figura 20 - Financiamento	54
Figura 21 - Investimentos Iniciais.	56
Figura 22 - Custos Fixos.	56
Figura 23 - Valor dos Exames.	57
Figura 24 - Receita.....	58
Figura 25 - Custos Fixos Desdobrados.	58
Figura 26 - Fluxo.	59
Figura 27 - Fluxo-ano.	59
Figura 28 - Viabilidade Financeira do Projeto.....	62
Figura 30 - MULTIX Impact.	65
Figura 31 - Análise da Viabilidade Financeira do Estudo de Caso.....	66
Figura 34 - Custos Fixos Desdobrados Aplicado ao Estudo de Caso.	79

Figura 35 - Fluxo Aplicado no Estudo de Caso.	79
Figura 36 - Fluxo ao Longo do Período de 10 anos do Estudo de Caso.	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EMH – Equipamentos Médico – Hospitalares

EAS – Estabelecimentos Assistenciais de Saúde

EC – Engenharia Clínica

MC – Manutenção Corretiva

MP – Manutenção Preventiva

TIR – Taxa Interna de Retorno

VPL – Valor Presente Líquido

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

CV – Ciclo de Vida

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Objetivo Geral	15
1.2. Objetivo Específico.....	15
2. DESENVOLVIMENTO	16
2.1. História da Radiografia.....	16
2.2. Evolução da Radiografia ao Longo dos Anos	17
2.3. A Física dos Raios-X.....	18
2.3.1. O Que São os Raios-X	18
2.3.2. O Tubo de Raios-X	19
2.3.3. Raios-X Característicos	23
2.3.4. Raios-X de Freamento (Bremsstrahlung)	24
2.4. Equipamentos de Raios-X.....	25
2.4.1. Equipamentos de Raios-X Analógicos.....	28
2.4.2. Equipamentos de Raios-X Computadorizados	29
2.4.3. Equipamentos de Raios-X Digitais	29
2.5. Radiologia no Brasil	31
2.6. Gestão dos Equipamentos Médico-Hospitalares	32
2.7. A Engenharia Clínica.....	33
2.7.1. Papel da Engenharia Clínica na Substituição de EMH	33
2.8. Ciclo de Vida	34
2.9. Gerenciamento da Manutenção	36
2.9.1. Manutenção Preventiva	36
2.9.2. Manutenção Corretiva	37
2.9.3. Calibração	37
2.9.4. Controle de Qualidade de Imagem	37

3. SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS	39
3.1. Causas de Substituição.....	39
3.1.1. Idade.....	39
3.1.2. Custos de Manutenção.....	40
3.1.3. Tempo Médio Entre Falhas	41
3.1.4. Fim do Suporte Técnico (End Of Service - EOS) e Fim da Vida Útil (End Of Life - EOL).....	41
3.1.5. Segurança dos Pacientes.....	42
3.1.6. Aprimoramento no Diagnóstico.....	42
3.1.7. Aumento do Faturamento	43
3.1.8. Obsolescência Tecnológica.....	43
3.1.9. Marketing e Impacto Social	44
3.2. Métodos de Avaliação de Substituição de Equipamentos Médico Hospitalares	44
3.2.1. Método Multiparamétrico - Fennigkoh, 1992	44
3.2.2. Método Econômico - Christer e Scarf, 1994	46
3.2.3. Árvore de Eventos - Cruz, 2002.....	47
3.2.4. Metodologia para Avaliação de Equipamentos Biomédicos (MEEB) - Pacheco et al, 2002	48
3.2.5. Método Complexo de Planejamento de Substituição de Equipamentos - Dondelinger, 2003/2004.....	49
3.2.6. Clark, 2004	50
3.2.7. Sistema de planejamento de substituição de equipamentos (Equipment Replacement Planning System ,ERPS) - Rajasekaran, 2005.....	50
3.2.8. Planejamento de Substituição de Equipamentos - Grimes, 2006	51
3.2.9. Limites de Manutenção e Despesas (Maintenance e Expenditure Limits, MEL) - Albornoz, 2006	51
3.2.10. Fator de Prioridade - Dreiss, 2008	51

3.3. Definição Método Para Aplicação na Substituição de Equipamentos de Raios-X	52
3.4. Viabilidade Financeira	52
3.4.1. Ferramenta para Estudo da Viabilidade Financeira	53
3.5. Aplicação Prática	62
3.5.1. Aplicação Método Multiparamétrico	63
3.5.2. Aplicação Ferramenta para Estudo da Viabilidade Financeira	65
4. CONCLUSÃO	68
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
APÊNDICE A	77

1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento do parque tecnológico dos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS) tem recebido cada vez mais atenção e relevância dentro dos tópicos de trabalho de uma instituição. Pontos como disponibilidade de equipamentos, obsolescência tecnológica, custos de operação e manutenibilidade, segurança dos pacientes e operadores tem grande impacto econômico e social. Dentre os Equipamentos Médico-Hospitalares (EMH) os da classe de diagnóstico por imagem demandam ainda mais atenção devido à alta complexidade tecnológica e custos elevados, como exemplo os equipamentos de Raios-X.

Uma etapa importante do gerenciamento do parque de uma instituição refere-se ao processo decisório de substituição de uma tecnologia, tendo em vista que o equipamento chega ao fim de sua vida útil e deve ser substituído por uma nova tecnologia. A substituição engloba pontos desde as causas que justifiquem sua real necessidade até a aquisição da nova tecnologia. Entretanto o processo de decisão não costuma seguir um fluxo definido ou obedecer a critérios de análise e estudo do impacto financeiro da escolha. Mesmo se tratando de um assunto de suma importância nos EAS, a decisão costuma estar baseada na subjetividade dos decisores, desconsiderando pontos técnicos e econômicos.

Assim, este trabalho propõe um fluxo a ser seguido durante a análise da substituição de um EMH, parte da aplicação de uma metodologia de avaliação e a partir do resultado da mesma é feito um estudo da viabilidade financeira da nova aquisição. Para chegar ao fluxo proposto foi realizado um estudo dos métodos de avaliação de substituição de EMH e definição aplicabilidade destas em um cenário de substituição de equipamentos de Raios-X. É primordial conhecer sobre o equipamento em questão para avaliar os avanços tecnológicos dos novos equipamentos disponíveis no mercado da saúde.

1.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise os principais fatores bem como dos métodos e critérios utilizados para auxiliar no processo de tomada de decisão para substituição de equipamentos médico-hospitalares. Para isso, será apresentada uma contextualização teórica sobre a história dos Raios-X, equipamento médico foco deste estudo, e uma pesquisa bibliográfica sobre os métodos e critérios para avaliação da substituição dos mesmos.

1.2. Objetivo Específico

- a) Aplicar metodologia de avaliação de substituição de um equipamento de radiologia em um estudo de caso;
- b) Propor e aplicar uma ferramenta para análise financeira da viabilidade de aquisição de um equipamento de radiologia digital.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. História da Radiografia

Data-se em 8 de novembro de 1895 a descoberta do fenômeno desconhecido de radiação observado pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen (1845-1923). Nessa oportunidade Roentgen estudava os tubos de raios catódicos, e inesperadamente teve resultados que o levaram à descoberta da técnica de Raios-X.

O estudo dos raios catódicos baseava-se em uma Ampola de Crookes, experimento desenhado por William Crookes, onde num tubo parcialmente a vácuo são encontrados polos negativos (cátodo) e positivos (ânodos) submetidos a uma descarga elétrica. A partir da diferença de potencial observada entre os polos era possível perceber a projeção de um feixe luminoso que surgia do polo negativo e atravessava o tubo, denominado de “raios catódicos”.

Ao tentar entender o processo de condução dos raios catódicos na Ampola de Crookes, Roentgen observou uma luminosidade em uma tela coberta com platinocianeto de bário - composto capaz de emitir uma luminescência verde, próxima ao tubo. Intrigado com a observação, o cientista virou a tela de modo ao platinocianeto de bário ficar oposto ao tubo, e mesmo assim o fenômeno persiste. E então ao posicionar sua mão em frente a tela Roentgen conseguiu observar seus ossos projetados - sua primeira observação da funcionalidade da radiação até então desconhecida, que por este motivo foi denominada de Raios-X.

Após sua observação o cientista passou a fazer inúmeros experimentos adicionando diversos materiais entre o tubo e a tela, analisando as diferentes interações e o poder de penetração da radiação. E, também despropositadamente, devido a presença de chapas fotográficas em seu laboratório, Roentgen percebeu que as mesmas começaram a ficar marcadas com o passar dos experimentos com a radiação descoberta.

Em 22 de novembro de 1895 Roentgen expôs a mão de sua esposa, Anna Bertha, por 15 minutos à radiação proveniente do tubo de raios catódicos sobre um filme fotográfico. O resultado foi a confirmação das experiências do cientista, uma imagem mostrando os ossos da mão esquerda de sua esposa e seu anel de

casamento, Figura 1, iniciou-se assim a radiologia médica e as técnicas de diagnóstico por imagem. (NERSISSIAN, 2016)



Figura 1 - Radiografia da mão de Anna Bertha Roentgen, esposa de Wilhelm Conrad Roentgen, em 1895.

Fonte: Marques e Bulhões, 2019.

2.2. Evolução da Radiografia ao Longo dos Anos

Entre a descoberta de Roentgen em 1895 até os equipamentos e técnicas de radiodiagnóstico que conhecemos atualmente existe uma grande evolução tecnológica e ruptura de convicções que foram criadas pela população sobre a radiação.

Os primeiros equipamentos que foram utilizados não possuíam estabilidade, direcionamento do feixe de radiação ou controle de dose e gastavam muito tempo para aquisição de uma imagem. E além da falta de padronização dos exames realizados, muito pouco, ou quase nada, se sabia sobre o efeito da radiação no corpo humano. O que não impediu a população de demonstrar um grande interesse na nova descoberta, e se submeter, por curiosidade, a longas exposições.

O abuso das exposições logo evidenciou os efeitos nocivos das altas doses de radiação. Muitos foram os casos de operadores e pesquisadores acometidos por radiodermatites, graves queimaduras que levavam a cirurgias ou até mesmo a amputação dos membros.

A partir destes episódios surgiu a necessidade da proteção radiológica e evolução das técnicas e equipamentos. Desde então várias foram as modificações nos equipamentos, com o objetivo de melhorar a qualidade da imagem gerada e de diminuir a radiação e o longuíssimo tempo de exposição, para segurança dos pacientes e operadores.

Tem-se então um longo caminho de evolução desde a radiologia baseada em equipamentos muito similares ao utilizado na descoberta de Roentgen associado a revelação manual das imagens até os equipamentos da era digital com alto poder de diagnóstico, baixo tempo de exposição e avançadas técnicas de pós processamento encontrados no mercado da saúde atualmente.

2.3.A Física dos Raios-X

2.3.1. O Que São os Raios-X

Os Raios-X integram a classe das radiações eletromagnéticas, não necessitam de um meio para propagação e movem-se na velocidade da luz ($3,0 \times 10^8$ m/s), assim como a luz visível, microondas, ondas de rádio, entre outras. Estendem-se pelo espectro eletromagnético entre as frequências de 30 petahertz a 30 exahertz, com comprimento de onda de 0,01 nanômetros a 10 nanômetros, ficando abaixo apenas da faixa de frequência da radiação gama no espectro eletromagnético, Figura 2.

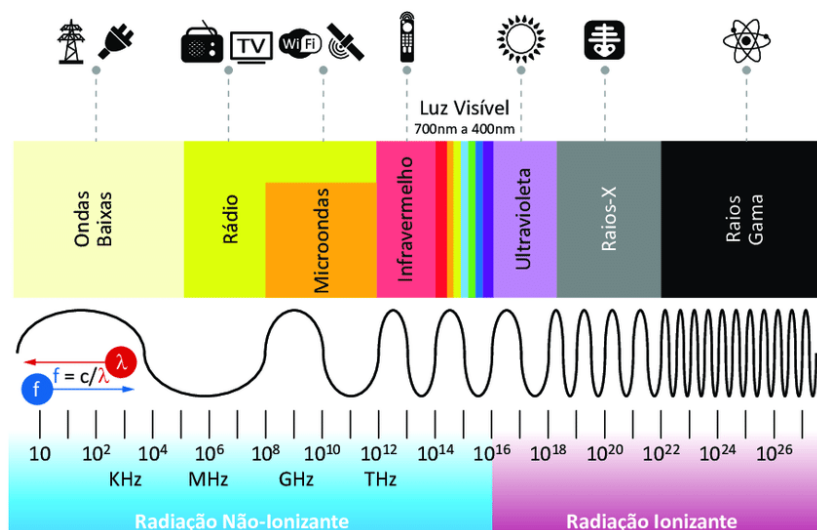


Figura 2 - Espectro Eletromagnético.
Fonte: da Costa, 2019.

Os Raios-X são produzidos quando os elétrons, em alta velocidade, colidem com a matéria, transformando parte de sua energia cinética em radiação eletromagnética. Para isso, o processo de formação da radiação X ocorre em dispositivos que possuem uma fonte de elétrons, um caminho para aceleração dos elétrons - no vácuo, um eletrodo alvo e uma fonte de energia externa que fornece uma diferença de potencial capaz de acelerar os elétrons. (BUSHBERG et al., 2011).

É considerada um tipo de radiação ionizante, ou seja, ao entrar em contato com um átomo pode excitá-lo ou retirar elétrons. A formação dos Raios-X pode ser do tipo Raios X Característico ou de Bremsstrahlung (freamento), dependendo do modo como o elétron acelerado interage com o ânodo. Inicialmente, em ambos, é necessário haver um elétron incidente.

2.3.2. O Tubo de Raios-X

O tubo de Raios-X é o ambiente necessário para a produção de Raios-X característicos ou de freamento, assuntos discutidos no próximo tópico. Consiste em uma ampola de vidro ou metal a vácuo, para evitar que os elétrons se colidam com moléculas de gás, cátodo, ânodo.

O gerador de Raios-X fornece a energia e permite seleção da tensão do tubo, corrente do tubo e tempo de exposição.

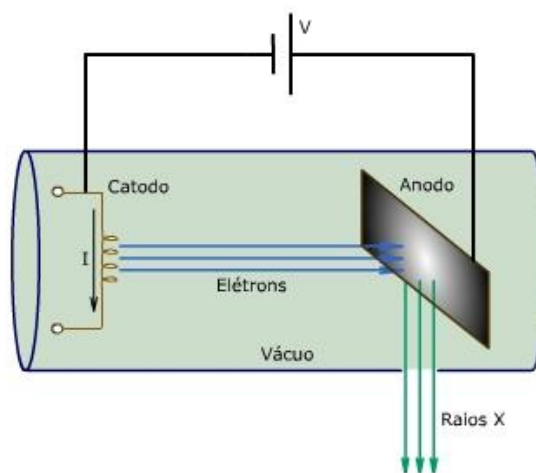
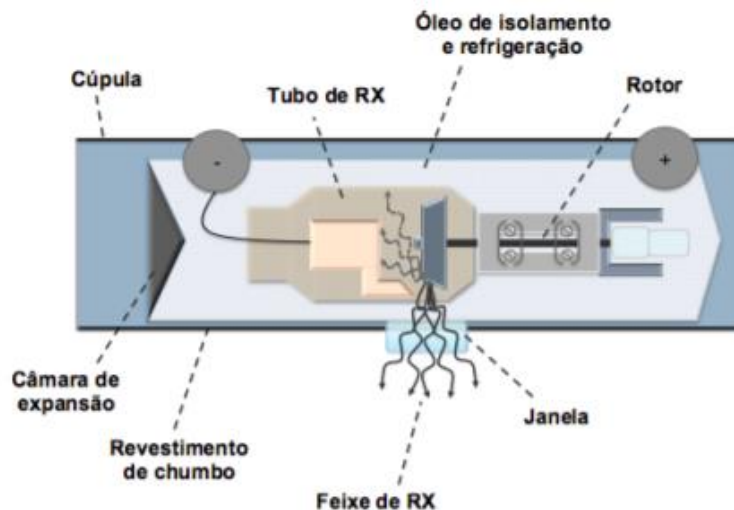


Figura 3 – Esquema do Tubo de Raios-X.
Disponível em: <<https://www.oocities.org/tomografiademadeira/Raiosx.html>>. Acesso em: 20 de dezembro de 2020.

2.3.2.1. *Housing*

A ampola de vidro ou metal que forma o *housing* tem como função isolar e proteger o tubo de Raios-X, é blindada por chumbo em praticamente sua extensão, exceto a área destinada ao direcionamento dos Raios produzidos para saída. A blindagem de chumbo tem por função atenuar os Raios que não são direcionados à janela de saída do feixe útil.

O processo de produção gera uma porcentagem significativa de calor, cerca de 99%, gerando a necessidade de um sistema de resfriamento dentro do tubo para que ele não superaqueça. Para isso pode-se recorrer à utilização de óleo, ar ou água. Para o resfriamento por óleo ou água são utilizadas bombas que garantem sua circulação dentro da cúpula, ou ventiladores no caso de resfriamento por ar. A Figura 4 ilustra os componentes da ampola. (NERSISSIAN, 2016)



*Figura 4 - Cúpula de Raios-X.
Fonte: Nersissian, 2016.*

2.3.2.2. Cátodo

O cátodo é o eletrodo negativo do tubo, responsável pela emissão da nuvem de elétrons que atingirá o polo positivo. Consiste em um, ou dois, filamentos em espiral e um copo de focalização, como ilustra a Figura 5.

O filamento é feito de bons emissores termoiônicos, normalmente o tungstênio. O filamento é conectado a um circuito elétrico, quando energizado, o circuito aquece o filamento por meio de resistência elétrica, e o processo de emissão termiônica, que consiste na ejeção de elétrons por um material condutor, gera uma nuvem de elétrons ao redor do filamento.

Para que os elétrons fluam para o ânodo é aplicada uma tensão entre os eletrodos, fazendo com que os elétrons viagem seguindo o caminho direcionado pelo copo de focalização até o eletrodo positivo. O copo de focalização determina a espessura do feixe de elétrons, e consequentemente o tamanho da área a ser irradiada no eletrodo positivo. (NERSISSIAN, 2016)

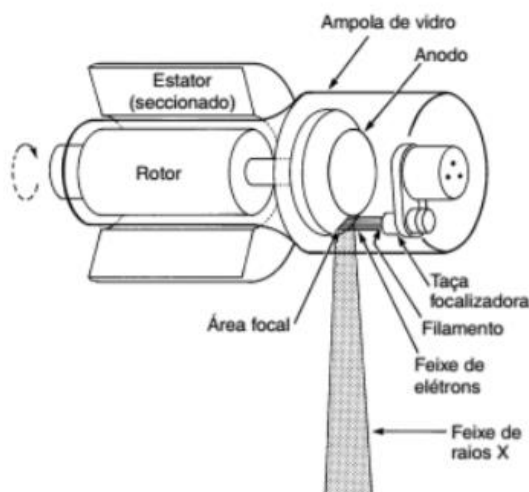


Figura 5 - Partes componentes de um cátodo.
Fonte: Pereira, 2013.

2.3.2.3. Ânodo

O ânodo atua como eletrodo positivo, sendo o alvo da nuvem de elétrons direcionada pelo cátodo. Como já mencionado, a maior parte da energia desse choque de elétrons é transformada em calor. Dessa forma o material do ânodo deve possuir alto ponto de fusão, como tungstênio, rênio ou uma combinação destes. Além da escolha do material do alvo, outra forma de aumentar a dissipação de calor são os sistemas de ânodo giratório, o que faz aumentar a área de interação com os elétrons e, conseqüentemente, sua dissipação de calor.

A capacidade giratória do ânodo se dá pela acoplagem do disco de metal a um motor de indução, constituído por um rotor e um estator, como mostra a Figura 6. Uma corrente alternada aplicada entre as bobinas do estator é produzida um campo magnético. O rotor recebe indução magnética e gira o ânodo a uma frequência de até 10800 rpm, a depender da marca e modelo do equipamento.



*Figura 6 - Anodo rotatório de um tubo de Raios-X.
Fonte: WHITE e PHAROAH, 2004.*

Outra importante característica do ânodo é sua angulação. O disco possui uma inclinação, que varia de 5° podendo chegar até 20° , que tem por função direcionar o feixe de Raios-X. (BUSHBERG et al., 2011).

2.3.3. Raios-X Característicos

Os elétrons possuem uma energia de ligação específica que os mantém distribuídos em camadas. Existem sete camadas eletrônicas, denominadas K, L, M, N, O, P e Q, onde a camada K, a mais interna, detém menor energia de ligação, e assim por diante.

Os elétrons incidentes do cátodo ao colidirem com o ânodo podem interagir com as diversas camadas do átomo. Quando a energia desse elétron incidente é igual ou maior ao valor da energia de ligação que mantém um elétron numa determinada camada, esse poderá ser ejetado. O que resultará em um vazio de um elétron na camada específica que será ocupado por um elétron de uma camada externa, já que esse tem uma energia de ligação menor. Como mostra a Figura 7.

Um Raios-X com valor equivalente à diferença entre as energias de ligação dos elétrons das duas camadas citadas será gerado, denominado de Raios-X característico. (BUSHBERG et al., 2011).



Figura 7 - Geração de Raios-X Característicos.
Fonte: Adaptada de BUSHBERG, 2011

2.3.4. Raios-X de Freamento (*Bremsstrahlung*)

Agora, quando os elétrons atingem o núcleo do átomo ocorre a produção de Raios-X por freamento ou *Bremsstrahlung*, do alemão *Bremsen* = frear e *Strahlung* = radiação. Ao se aproximar do núcleo do átomo o elétron é atraído pelas cargas positivas, causando uma desaceleração e mudança da trajetória do elétron incidente. O processo é ilustrado na Figura abaixo. Essa desaceleração causa uma perda de energia cinética, que é revertida em Raios-X de mesma energia.

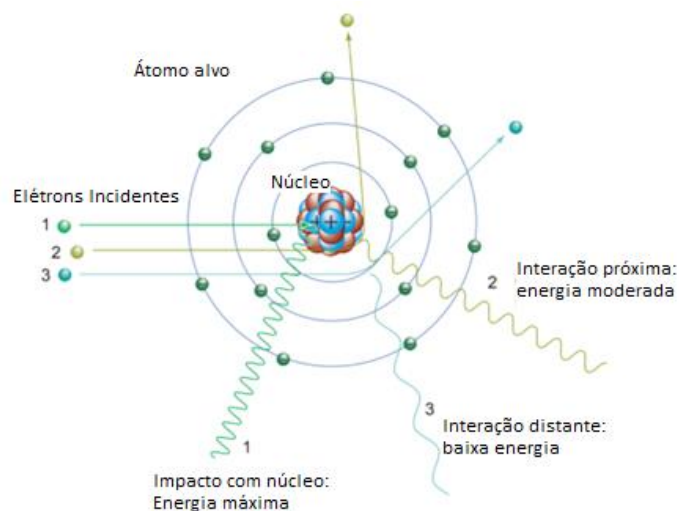
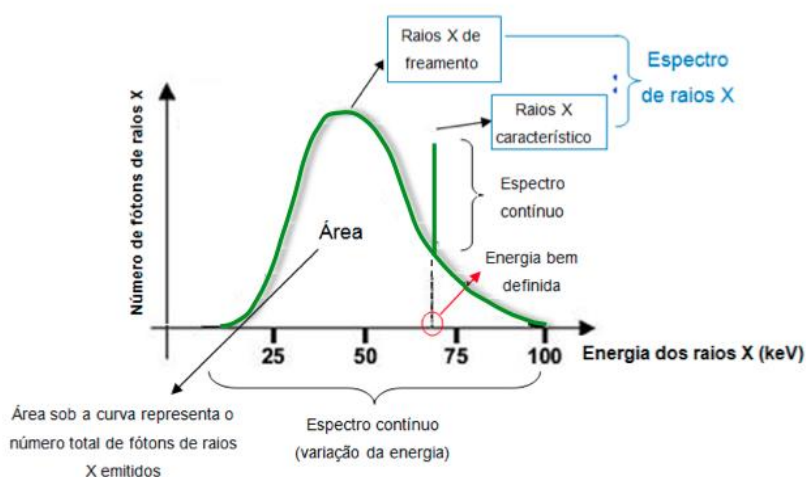


Figura 8 - Geração de Raios-X de Freamento.
Fonte: Adaptado de BUSHBERG, 2011

A energia cinética perdida é determinada pela distância entre o elétron incidente e o núcleo, quanto menor a distância maior a perda de energia e consequentemente produz Raios-X de freamento com alta energia. (BUSHBERG et al., 2011).

Um espectro de Raios-X é a soma dos eventos de freamento e característicos. Na Figura 9 pode-se observar a quantidade de fótons de Raios-X gerados por energia, medida em kilovolts. No pico presente no gráfico pode-se admitir que houve a produção de Raios-X característicos, num valor específico de energia, definido pelo material do ânodo.



*Figura 9 - Espectro de Raios-X.
Fonte: Nersissian, 2016.*

2.4. Equipamentos de Raios-X

O processo de produção de uma imagem radiológica tem como componentes principais a fonte de Raios-X e o sistema de registro da interação da radiação com o corpo. Associados a essas funções principais pode-se encontrar alguns componentes auxiliares para direcionamento do feixe de radiação. Hoje estão disponíveis no mercado equipamentos fixos, móveis e portáteis, diferindo em forma, tamanho e capacidade de acordo com o fabricante.

Os equipamentos de Raios-X fixos, categoria mais utilizada, como o ilustrado na Figura 10, necessitam de uma sala apropriada para sua instalação com características que possibilitem sua utilização. Alguns pontos importantes da sala são o suprimento de energia, blindagem das paredes, piso e teto que proporcione proteção para áreas adjacentes seguindo a regulamentação, local adequado e protegido para o operador comandar os exames e sinalização na porta de acesso. (PEREIRA, 2013)

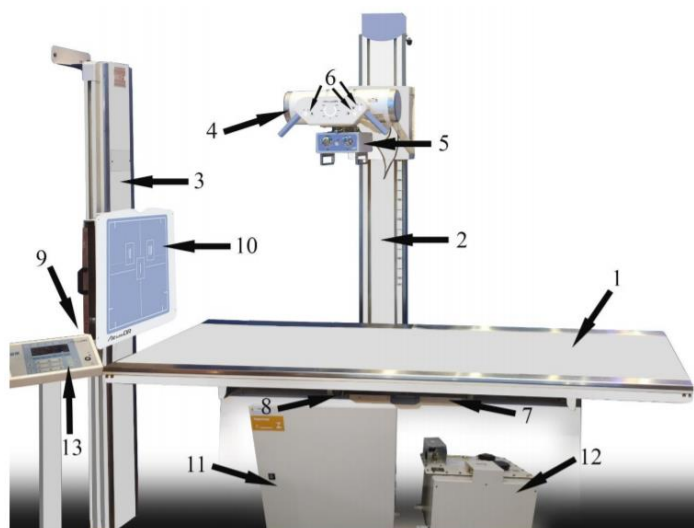


Figura 10 - Equipamentos de Raios-X Fixo.
Disponível em: <<https://www.konicaminoltahc.com.br/Raios-X-analogico/>>. Acesso em 18 de dezembro de 2020.

Os principais componentes de um equipamento de Raios-X fixo estão listados abaixo e ilustrados na Figura 11:

- 1) Mesa de exames: utilizada para acomodar o paciente para exposição;
- 2) Estativa Porta-Tubo: responsável pela sustentação da fonte de Raios-X, permiti movimentos verticais, horizontais e de rotação;
- 3) Estativa Mural-Bucky: local para posicionamento do paciente para exposições em pé;
- 4) Conjunto emissor de radiação: responsável pela geração de Raios-X, tubo de Raios-X;
- 5) Colimador: componente que tem por finalidade direcionar o feixe de radiação emitido;
- 6) Comando dos movimentos (freios) e ângulo de incidência dos Raios X: controle para movimentação da Estativa Porta-Tubo;

- 7) Bandeja Porta-Filme da mesa: local onde será inserido o componente registrador da exposição – filme radiográfico, placa digitalizadora ou detector digital;
- 8) Freio para o movimento longitudinal do bucky da Mesa de Exames: mecanismo que permite a movimentação da Bandeja Porta-Filme da mesa;
- 9) Freio para o movimento vertical do Bucky Mural: mecanismo que permite a movimentação da Bandeja Porta-Filme do Bucky Mural;
- 10) Bandeja porta-filme do Bucky Mural: local onde será inserido o componente registrador da exposição – filme radiográfico, placa digitalizadora ou detector digital;
- 11) Gerador: eleva a tensão da rede ao valor necessário para geração dos Raios-X;
- 12) Transformador de Alta Tensão: responsável por gerar a alta tensão no tubo de Raios-X;
- 13) Painel de Comandos: tem por função controlar os parâmetros de exposição, como corrente, tempo, tensão.



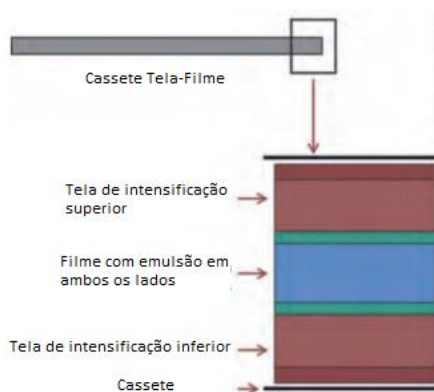
*Figura 11 - Visão Geral do equipamento de Raios-X.
Fonte: SAWAE, 2017*

Os equipamentos de Raios-X analógico e digital têm os mesmos princípios de funcionamento, diferindo apenas no modo como os Raios que atravessam o paciente são registrados. Na radiologia analógica, convencional, os registros ocorrem por meio

de um filme fotográfico, na radiologia computadorizada são utilizados chassis com placas de fósforo ao invés do filme radiográfico convencional que são posteriormente digitalizados. Por fim, na radiologia digital passou-se a utilizar detectores digitais sensíveis aos Raios-X, enviando as imagens obtidas diretamente para um computador.

2.4.1. Equipamentos de Raios-X Analógicos

Na radiologia analógica uma folha de filme com uma emulsão sensível à luz em ambos os lados é impressada entre duas telas intensificadoras, encapsuladas por um cassete à prova de luz, Figura 12. As telas intensificadoras são compostas por um intensificador que converte os fótons de Raios X incidentes para a luz visível, que então expõe a emulsão de haleto de prata no filme, que são sensíveis à luz e auxiliam na formação da imagem. O filme é composto por uma fina camada de plástico.



*Figura 12- Diagrama Tela-Filme.
Fonte: Adaptado de BUSHBERG, 2011*

Depois da exposição é necessário que o filme seja revelado para que o médico especialista possa visualizar e laudar o exame. Nesse ponto é importante trazer à tona algumas desvantagens de um sistema analógico:

- Com o decorrer de exames, a quantidade de filmes revelados é muito grande, gerando um acúmulo na instituição, além de significar um método não sustentável;
- Outro fator importante é que, o médico só consegue visualizar o resultado do exame após a revelação do filme, assim qualquer falha ocasionada, por exemplo pela movimentação do paciente, gera uma nova exposição, aumentando o nível de radiação a qual um paciente é submetido;
- Variação da qualidade da imagem e modo de processamento devido ao manuseio do filme.

2.4.2. Equipamentos de Raios-X Computadorizados

A radiografia computadorizada (CR) utiliza um cassete similar aos equipamentos analógicos, mas os filmes são substituídos por uma placa de fósforo foto estimulável. Quando há exposição de Raios-X, a radiação é absorvida pelos componentes foto estimulável. Uma fração da energia absorvida fica aprisionada em estados de energia excitados e pode ser “lida” por um scanner a laser. O laser do scanner tem a função de adicionar energia aos elétrons excitados, assim voltam para um estado de energia mais baixo emitindo luz. Essa luz é quantificada por um detector gerando a imagem digitalizada. Após a leitura as imagens são apagadas e a placa pode ser reutilizada.

Com a radiografia computadorizada as imagens puderam ser armazenadas em meio digital e, em caso de falhas, podem ser tratadas em programas computacionais. Além da diminuição do tempo de exposição para aquisição de uma imagem e aumento da qualidade da mesma. (ALBUQUERQUE et al., 2017).

2.4.3. Equipamentos de Raios-X Digitais

No final da década de 90 passaram a ser usados detectores digitais substituindo as placas digitalizadoras e filmes convencionais. Na radiologia digital a formação de imagens se dá através de uma placa de circuitos sensíveis à radiação, a

matriz de detectores, Figura 13. A radiação é convertida em impulsos elétricos para a geração de imagens em pixels. Não há necessidade de um scanner como na radiologia computadorizada, as imagens são enviadas ao computador pelo qual podem ser tratadas. Entre as inúmeras vantagens levantadas na literatura sobre a radiologia digital, citam: (ALBUQUERQUE, 2017)

- Redução de custos: o investimento inicial de um equipamento de Raios-X digital pode ser considerado elevado se comparado as outras técnicas, mas representa uma dispensa de custos relacionados aos reagentes químicos, mão de obra e sala de revelação de filmes radiográficos;
- Armazenamento de dados: com o armazenamento digital os exames podem ser salvos sem ocupação de espaço físico ou preocupação com extravio e perda de filmes;
- Agilidade: com a radiografia digital as imagens são geradas em segundo, e o processo desde a entrada do paciente na sala de exame até a liberação do mesmo gira em torno de 1/3 do tempo quando comparado a radiografia analógica e computadorizada;
- Diminuição da dose de radiação aplicada ao paciente, por precisar de menos tempo de exposição e pela eficiência dos circuitos da matriz de detectores altamente sensíveis.

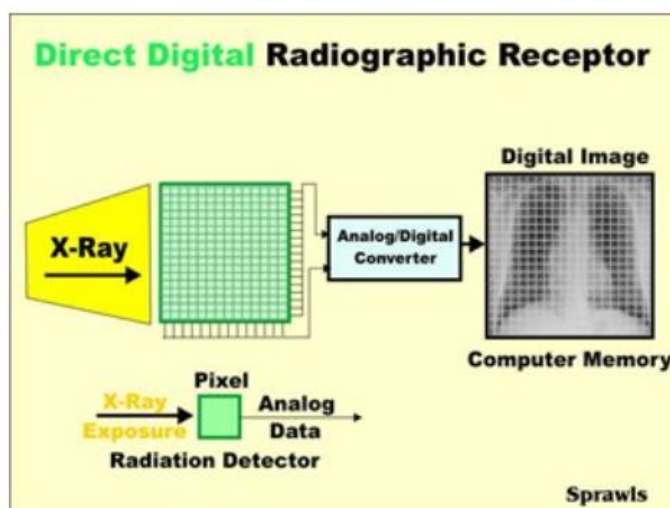


Figura 13 - Processo Formação Imagem Digital.

Disponível em: <<http://www.sprawls.org/resources/DIGRAD/module.htm>>. Acesso em 10 de janeiro de 2021.

2.5. Radiologia no Brasil

Não se tem uma definição exata sobre quem foi o responsável pela primeira radiografia no país. Alfredo Brito, na Bahia. Silva Ramos, em São Paulo, Francisco Pereira Neves, no Rio de Janeiro e alguns físicos no Pará disputam o feito, datado de 1896.

Em 1897 chega ao Brasil o primeiro equipamento destinado a fins diagnósticos, importado pelo Dr. Carlos Ferreira Pires (1854-1912). O equipamento fabricado pela Siemens sob supervisão direta de Roentgen foi instalado no interior de Minas Gerais. Possuía bobinas de indução de Rhumkorff, com cerca de 70 centímetros cada, e tubos tipo Crookes, parecidos aos do experimento de descoberta de Roentgen, Figura 14. Na época a cidade não dispunha de energia elétrica e para utilização do equipamento era necessário a utilização de baterias que posteriormente foram substituídas por um motor fixo de gasolina, fazendo as vezes de um gerador elétrico.



*Figura 14 - Primeiro equipamento de Raios-X do país.
Fonte: Fenelon e Almeida, 2001.*

Coincidentemente, a primeira radiografia realizada pelo Dr. Pires também foi de uma mão, pode ser vista na Figura 15. A imagem mostra um corpo estranho na mão de um de seus pacientes. Na época eram necessários cerca de 30 a 45 minutos de exposição para conseguir uma imagem (Fenelon e Almeida, 2001).



*Figura 15 - Radiografia realizada pelo Dr. Pires, 1898.
Fonte: Fenelon e Almeida, 2001.*

A partir de então o país evolui muito no assunto, trazendo novos equipamentos da Europa e iniciando cursos profissionalizantes na área. Hoje, apesar de ainda importar muitos equipamentos, já é possível encontrar no mercado de saúde brasileiro fabricantes de equipamentos de Raios-X nacionais, que montam conjuntos radiológicos altamente tecnológicos.

Apesar da revolução do diagnóstico médico propiciada pela era dos equipamentos de Raios-X digital, ainda é possível encontrar hospitais e clínicas em cidades interioranas que utilizam equipamentos analógicos com placas digitalizadoras e processo de revelação da imagem de filmes radiográficos. A desigualdade regional ainda é uma barreira para a difusão das tecnologias médicas. O fato se dá, na maioria das vezes, pelo alto valor de investimento financeiro inicial para aquisição de um equipamento digital. Além de que, o aumento da complexidade dos equipamentos está diretamente ligado a necessidade de um gerenciamento mais eficaz do histórico dos mesmos.

2.6. Gestão dos Equipamentos Médico-Hospitalares

Dentro dos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS) o modo como os Equipamentos Médico-Hospitalares (EMH) são administrados reflete muito no

tratamento dos pacientes. Um parque tecnológico bem gerido, com controle das informações e histórico das intervenções de um equipamento é de suma importância para a garantia de seu funcionamento em plenitude, refletindo na qualidade dos serviços e segurança dos pacientes. E, com o avanço da tecnologia na área e crescimento dos investimentos em EMH o tema é cada vez mais protagonista.

2.7. A Engenharia Clínica

A Engenharia Clínica (EC) tem seu berço nos Estados Unidos, onde, por volta da década de 60, viu-se a necessidade da presença de um engenheiro nos ambientes hospitalares. Tal fato ocorreu devido ao aumento dos equipamentos clínicos e pela necessidade de garantir a segurança dos pacientes, já que muito pouco se sabia ou era instruído sobre a correta forma de utilização e manutenção dos mesmos. Com um grande retardo, a EC chega no Brasil por volta de 1989. Nessa época os gestores hospitalares começam a observar os mesmos problemas já relatados nos Estados Unidos décadas atrás.

Atualmente a EC é considerada uma área dentro da academia da Engenharia Biomédica. Com o desenvolvimento constante da tecnologia o papel do Engenheiro Clínico caminha cada vez mais além de apenas gerir e programar as manutenções, passando a integrar funções que agregam gestão e gerenciamento de pessoas e projetos, gerenciamento de risco, usabilidade, processo de compras, coordenação do parque tecnológico e uma incorporação com os profissionais de tecnologia da informação.

No gerenciamento dos equipamentos médico-hospitalares, o Engenheiro Clínico está presente em todas as etapas do ciclo de vida de um equipamento. Assim deve-se certificar que os equipamentos estejam funcionando da maneira adequada, atuando de maneira a reduzir perdas de recursos e desempenhando função crucial com a tomada de decisão nos processos de substituição e incorporação de novas tecnologias. (BRITO, 2004)

2.7.1. Papel da Engenharia Clínica na Substituição de EMH

O Engenheiro Clínico desempenha papel fundamental no processo de substituição de um equipamento médico hospitalar. O mesmo começa desde a criação e alimentação do histórico de um equipamento, o que inclui todas as informações a respeito das manutenções, englobando os custos com mão-de-obra, peças e contratos externos. Segundo levantamento da Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO) os custos com o setor de manutenção em um hospital chegam a representar 10% das despesas totais, cabe ao Engenheiro estar a par de todos os custos que envolvem manter um equipamento funcionando. A periodicidade dos reparos também é indicadora de importante análise para substituição por novas tecnologias e deve ser levada em consideração.

Além do gerenciamento da tecnologia já disponível no EAS também é de suma importância que o engenheiro responsável pelo setor esteja inteirado sobre as novas tecnologias disponíveis no mercado. Sendo capaz de analisar e comparar as características técnicas dos equipamentos em pauta.

Vale também ressaltar a rentabilidade e faturamento que um equipamento traz para o hospital, determinados pelos tipos e números de procedimentos realizados. O retorno financeiro que o investimento em um equipamento traz ao EAS, retorno sobre investimento (ROI – Return On Investment), será um dos principais fatores levado em consideração pela diretoria para tomada de decisão. Cabe então ao engenheiro estar atento a todos os pontos mencionados para levantamento da viabilidade da substituição de equipamento por uma nova tecnologia.

2.8. Ciclo de Vida

De acordo com Albornoz (2000) o Ciclo de Vida de um equipamento (CV) é um dos mais importantes instrumentos de análise para avaliação das tecnologias médicas. O conceito do CV leva em conta que uma tecnologia nasce, cresce, alcança um nível de maturidade até por fim tende à saturação e ao desaparecimento. O que leva à substituição por novas tecnologias que iniciam um novo ciclo (TORRES, 1995).

Panerai et al (1990) subdivide o CV de uma tecnologia médico-hospitalar do ponto de vista do usuário em 5 fases: Inovação, Difusão, Incorporação, Utilização e Abandono, Figura 16.

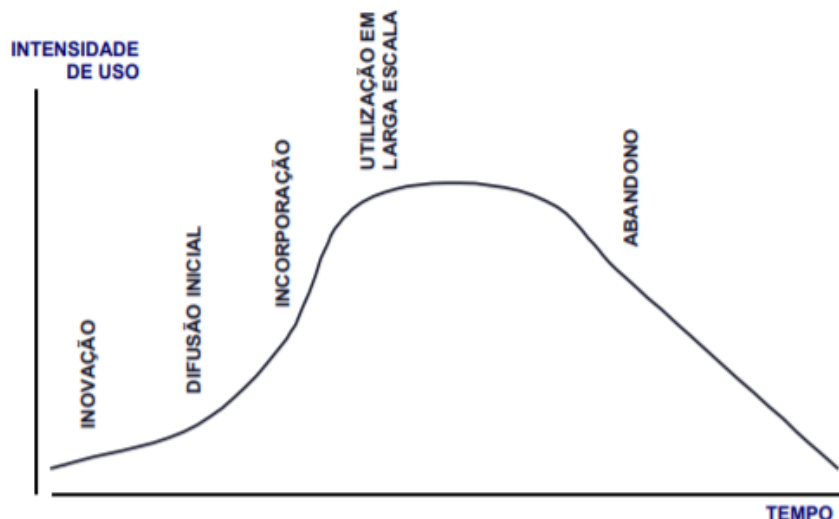


Figura 16 - Ciclo de vida de um equipamento.
Fonte: Almeida, Freire e Abreu, 2009.

- I. *Inovação*: a fase de inovação compreende todo o projeto envolvido na ideação de um EMH a partir de uma necessidade dos usuários;
- II. *Difusão*: a difusão inclui o período após a fase de Inovação marcada pela entrada do produto do mercado e ações para lançamento dos mesmos promovidas pelas empresas, nessa fase os equipamentos originados da fase de inovação ainda podem sofrer alterações técnicas;
- III. *Incorporação*: uma das fases principais, a incorporação é caracterizada pela aquisição dos equipamentos nos EAS e compreende processos internos essenciais para tal, como especificação técnica, instalação e difusão da tecnologia entre os usuários;
- IV. *Utilização*: período de utilização do EMH que determinará sua vida útil dentro do EAS. Assimila todos os processos que podem estar vinculados a utilização da tecnologia e ampliação do período, como manutenções corretivas e planejadas;
- V. *Abandono*: na última fase ocorre o descarte, substituição e preparação para incorporação de uma nova tecnologia. Nesse momento o equipamento será retirado de operação por motivos funcionais ou tecnológicos:
 - A. *Abandono funcional*: em resumo o descarte funcional de um equipamento é declarado quando o mesmo não tem mais capacidade técnica de exercer suas funcionalidades, por degradação ou ocorrência constante de falhas técnicas;

B. *Abandono tecnológico*: é caracterizado pela substituição de um equipamento por outro com tecnologia superior.

2.9. Gerenciamento da Manutenção

Inicialmente as manutenções nos Equipamentos Médico Hospitalares, e em outras áreas, eram realizadas única e exclusivamente em caráter emergencial, buscando solucionar um defeito apresentado. Com o avanço da tecnologia e investimentos cada vez mais altos na aquisição de novos recursos viu-se a necessidade não só de corrigir as falhas, mas também de evitar que as mesmas ocorressem. As manutenções em caráter de precaução começaram a ser aplicadas em conjunto com as corretivas, visando aumentar a eficiência, garantindo os níveis e parâmetros de funcionamento adequado de um equipamento, além de aumentar sua disponibilidade dentro de um EAS.

No campo dos equipamentos de radiologia a assertividade de um diagnóstico depende muito da qualidade das imagens geradas. O nível de radiação emitida, isolamento térmico e elétrico e ainda o desgaste de peças relevantes são itens imprescindíveis de constante monitoração para evitar falhas em um equipamento, além de garantir a qualidade do diagnóstico prestado e estar intrinsecamente ligada à vida útil do mesmo.

2.9.1. Manutenção Preventiva

As Manutenções Preventivas (MP) são realizadas de modo a prevenir possíveis falhas em um equipamento. Ocorrem de maneira programada, seguindo uma periodicidade e protocolo específicos de cada equipamento, recomendações dos próprios fabricantes e das agências normativas do país.

Segundo o Manual de Segurança no Ambiente Hospitalar da Anvisa:

Todo equipamento eletro-eletrônico a ser utilizado em áreas críticas (ocupadas por pacientes) deverá ser inspecionado periodicamente pelo setor de engenharia clínica (ou manutenção de equipamento médico). Entre outros ensaios, deverá ser realizada a medição de corrente de fuga. As inspeções deverão ser efetuadas de acordo com o especificado pelo fabricante, antes do uso inicial, após reparos ou modificações, e no mínimo, anualmente, ou

semestralmente (áreas de cuidados gerais como o paciente. Estes testes deverão obedecer os requisitos e recomendações das Normas IEC 601 E e VDE 751.

E ainda, dentro da classificação os equipamentos por grau de risco os equipamentos de Raios-X enquadram-se na Classe III, de alto risco, a qual a Anvisa recomenda periodicidade anual das manutenções preventivas.

Entre os procedimentos realizados nas preventivas de equipamentos de Raios-X pode-se citar a verificação da tensão gerada, alinhamento do tubo de Raios x, medição de resistência dos cabos de alimentação e limpeza das peças e partes.

2.9.2. Manutenção Corretiva

Manutenções Corretivas (MC) são realizadas normalmente após a ocorrência de uma avaria ou incapacidade de um equipamento. Pode implicar na suspensão da atividade dos equipamentos por um longo período, acaba por gerar maior impacto financeiro devido a parada e possíveis trocas de peças e componentes.

Na maioria das vezes, as MC de equipamentos de Raios-X englobam a troca da lâmpada do colimador, ou consumíveis ligados a falha do tubo de Raios-X.

2.9.3. Calibração

A calibração é compreendida como método para ajustar os padrões de funcionamento do equipamento a padrões conhecidos, visando garantir boa acurácia e precisão das medições e cargas oferecidas ao paciente. Na radiologia uma tomada de pontos essencial no momento da calibração refere-se à dosimetria do feixe aplicado ao paciente, regida pela Portaria 453/98.

2.9.4. Controle de Qualidade de Imagem

O programa de Controle de Qualidade de Imagem é fundamental para garantir a qualidade das imagens médicas, assegurando confiança no diagnóstico obtido. A

Portaria 453/1998 da Anvisa institui que todo equipamento de Raios x deve ser submetido a análises de desempenho periodicamente, e com o aumento da idade desses equipamentos o assunto deve ter atenção redobrada.

O controle de qualidade de imagem deve ser realizada por empresa especializada, sob responsabilidade de um Físico Médico, e envolve testes como verificação da dose aplicada ao paciente e padronização, verificação do tempo de exposição, rendimento do tubo.

3. SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS

O processo de substituição de um equipamento é concretizado na última fase do ciclo de vida de uma tecnologia médica, o abandono. O momento ideal em que se deve ocorrer a substituição é um ponto crucial para garantir a disponibilidade do mesmo e consequentemente o devido atendimento aos pacientes. Decisão que deve ser baseada em práticas assertivas, levando em consideração fatores econômicos, clínicos, sociais, éticos e normativos.

Mas apesar da criticidade e importância do assunto é comum a decisão ser baseada na subjetividade, no bom senso e na experiência prática dos decisores e não em critérios devidamente pré-estabelecidos. É raro encontrar estabelecimentos assistenciais de saúde com processos mapeados, seguindo métodos de avaliação e análise financeira do tempo de retorno sobre o investimento de incorporação da nova tecnologia. Fato que leva, em muitos casos, a um equipamento ser substituído sem real necessidade, apenas por estabelecer um teto máximo para gastos com uma manutenção, cita Katz (1998). No cenário público, dada a insuficiência dos recursos destinados ao setor da saúde, a imprecisão e subjetividade das decisões pode levar à alocação de capital num momento ou áreas de menor urgência.

3.1. Causas de Substituição

O porquê da necessidade da substituição de um equipamento pode estar relacionado a uma, ou várias, causas. Um gerenciamento inteligente do parque tecnológico com histórico bem alimentado e ciclo de vida conhecido é fundamental para realizar a análise da causa raiz que será utilizada como justificativa para a imprescindibilidade da substituição por uma nova tecnologia. Dentre as possíveis causas, pode-se apontar:

3.1.1. Idade

A idade de um equipamento, ou sua vida útil, pode ser contada a partir da fase de incorporação até o momento de análise. Esse fator por si só pode não ser definido como uma causa raiz para a substituição de um equipamento, porém o mesmo influencia em outros aspectos, como exemplo a obsolescência tecnológica e recorrência e custos de manutenções corretivas.

Em seu estudo sobre a vida econômica de um equipamento, Caplham (1957) determina que os custos de manutenção por período crescem de acordo com a idade de um equipamento, conclusão apontada pela função:

$$f(n) = S + s.n \quad (1)$$

onde:

f - custo de manutenção por período.

S - custo de manutenção de uma máquina no primeiro ano de operação.

s - acréscimo ao custo de manutenção por período anual.

n - idade do equipamento em anos.

Além do aumento dos custos de manutenção, com o passar dos anos as tecnologias evoluem, trazendo novas funcionalidades e configurações do equipamento até então desconhecidas. A evolução constante das tecnologias médicas pode implicar numa obsolescência tecnológica dos equipamentos em curto espaço de tempo.

3.1.2. Custos de Manutenção

Os custos envolvidos para garantir a manutenibilidade de um equipamento médico envolvem todos os custos destinados às manutenções programadas e corretivas, as peças consumíveis nos processos de reparo e aos custos de mão de obra, podendo essa ser interna do EAS ou estabelecida por contrato, com terceiros ou aos custos destinados aos contratos de garantia.

É recomendado pelo manual de Gerenciamento de Manutenção de Equipamentos Hospitalares (1998) que os custos de manutenção anuais de um equipamento girem em torno de 7% do valor de aquisição do mesmo. Mas, em 2015,

segundo a Associação Nacional de Hospitais Privados, a ANAHP, os custos com manutenção e assistência técnica cresceram cerca de 15,6% no comparativo de 2013 para 2014.

Tanaka e Nascimento (2014) estimaram que no estado de São Paulo são gastos por ano R\$ 681.776.462,33 (seiscentos e oitenta e um milhões e setecentos e setenta e seis mil e quatrocentos e sessenta e dois reais e trinta e três centavos) com a manutenção. Deste montante o valor mais alto de manutenção, cerca de 57,48%, corresponde aos equipamentos de diagnóstico por imagem, o que engloba os equipamentos de Raios-X. Tal fato se deve a classificação dos equipamentos de diagnóstico por imagem como equipamentos de alta complexidade, elevando o custo de assistência técnica e exigindo técnicos altamente capacitados.

3.1.3. Tempo Médio Entre Falhas

O período entre as falhas de um equipamento durante sua operação pode ser medido através do MTBF (*Mean Time Between Failures*). Através deste é possível definir de quanto em quanto tempo um equipamento deixa de estar disponível para operação por conta de um defeito. É considerado um dos principais indicadores dentro da Engenharia Clínica, e pode ser calculado através da equação:

$$MTBF = \frac{\text{Tempo Total Disponível} - \text{Tempo Perdido}}{\text{Número de Paradas}} \quad (2)$$

onde é levado em conta o total de tempo em que um equipamento ficou disponível e o tempo gasto com as manutenções para corrigir as falhas ocasionadas, em horas, em relação ao número de paradas em um determinado período.

Em casos em que o MTBF indica que as falhas estão ocorrendo entre períodos curtos de tempo, a métrica pode ser utilizada para justificar a propensão à substituição do equipamento.

3.1.4. Fim do Suporte Técnico (End Of Service - EOS) e Fim da Vida Útil (End Of Life - EOL)

O termo Fim da Vida Útil (EOL) é utilizado pelos fabricantes para indicar que um equipamento ou peça atingiu o fim de sua vida útil e não será mais comercializado, sendo descontinuado. Na maioria das vezes ocorre pela substituição por modelos mais atuais. Já com a definição de Fim do Suporte Técnico (EOS) o fabricante não fornece mais serviços de manutenção a uma determinada classe de equipamentos, que em tese já teve seu EOL declarado.

No caso de equipamentos de pequeno porte, muitas vezes peças de uso comum são adaptadas entre modelos de diferentes gerações e a assistência técnica pode continuar sendo prestada por outros fornecedores do mercado. Já para equipamentos de grande porte e complexidade, como é o caso dos equipamentos de radiologia, a declaração de EOS indica uma iminente necessidade de substituição por um modelo mais atual, já que não haverá no mercado peças disponíveis para troca no caso de defeito e profissionais capacitados para realizar as manutenções. Dada a situação, no momento de aquisição de uma tecnologia e no estabelecimento do contrato entre as partes é primordial que seja definido um tempo de vida útil mínimo do equipamento e do suporte técnico.

3.1.5. Segurança dos Pacientes

A obsolescência de um equipamento está diretamente ligada à sua integridade e capacidade de desempenho, capaz de garantir plena segurança, tanto aos pacientes quanto aos operadores. Se um equipamento apresenta riscos para a vida do paciente ou de seu operador, deve ser descartado. Para isso é necessário analisar fatores como a corrente de fuga dos mesmos, integridade da carcaça, fios expostos, entre outros pontos.

Na área da radiologia, objeto deste estudo, com o investimento em técnicas menos nocivas ao paciente e aos médicos é possível diminuir a incidência de radiação quando usados aparelhos digitais.

3.1.6. Aprimoramento no Diagnóstico

A constante evolução da tecnologia aplicada à área da saúde permite diagnósticos cada vez mais precisos e ágeis. Fato que deve ser levado em consideração no processo de decisão de substituição de um equipamento por um de tecnologia mais evoluída. Na área da radiologia, o que se espera para os dias de hoje, é uma imagem com cada vez mais qualidade e rapidez na hora de realizar o exame. Além da melhora na resolução, os equipamentos de Raios-X digitais proporcionam métodos para tratamento da imagem, alcançando níveis de qualidade e nitidez da imagem satisfatórios com menor exposição dos usuários à radiação.

A capacidade de gerar diagnósticos mais precisos e assertivos pode ser considerada uma causa para justificar a necessidade da substituição de um equipamento.

3.1.7. Aumento do Faturamento

O faturamento que um determinado equipamento traz à sua instituição pode estar relacionado aos serviços que o mesmo é capaz de realizar e ao volume de procedimentos realizados por período. Equipamentos com idade avançada costumam apresentar menor disponibilidade devido às recorrentes falhas e consequente diminuição do número de procedimentos capazes de realizar. Além de que o retorno sobre os serviços prestados está relacionado a tecnologia do equipamento em discussão.

3.1.8. Obsolescência Tecnológica

A obsolescência tecnológica pode ser determinada quando a tecnologia encontrada no equipamento em análise não é mais utilizada e podem ser encontrados no mercado de saúde equipamentos com tecnologia superior. Burmester, Hermini e Fernandes (2013) citam como fatores relacionados a obsolescência tecnológica a incompatibilidade entre a capacidade do equipamento e demanda do serviço, a recorrência de problemas associados à operação do mesmo, períodos fora de

operação devido a falhas, não atendimento às normativas que podem ser aplicadas no EAS e na classe de equipamentos em questão o tempo de uso da tecnologia.

A comparação entre tecnologias pode ser determinada a partir de comparativos entre equipamentos similares de gerações diferentes, onde são levantadas especificidades técnicas, como o valor máximo e mínimo de miliampères e tensão do tubo no caso de equipamentos de radiologia. Além dos pontos técnicos também podem ser levados em conta fatores como a produtividade e custo de manutenção.

3.1.9. Marketing e Impacto Social

Antunez (2000) levanta o ponto de que a incorporação ou substituição de uma tecnologia médica é um fato com grande repercussão e impacto na opinião pública. Atualmente a divulgação das “benfeitorias” tem um grande impacto na imagem de uma instituição, seja de viés público ou privado.

Assim, devem ser levadas em conta no processo as repercussões e avaliar que efeitos de marketing uma substituição de uma tecnologia médico-hospitalar traria ao EAS.

3.2. Métodos de Avaliação de Substituição de Equipamentos Médico Hospitalares

Estão presentes na literatura diferentes métodos e critérios de avaliação e priorização de substituição de equipamentos médico-hospitalares, propostos por diversos autores no decorrer do tempo. Entre os diferentes tipos de metodologias podem ser encontrados critérios qualitativos, quantitativos ou uma associação entre ambos. É de suma importância que seja analisado qual método se aplica melhor a determinada classe de equipamentos. Nos tópicos que seguem é apresentada uma síntese dos principais métodos encontrados na pesquisa bibliográfica efetuada:

3.2.1. Método Multiparamétrico - Fennigkoh, 1992

Em 1992, Fennigkoh propôs o método multiparamétrico para a avaliação e substituição de equipamentos médicos. O método considera quatro tipos de fatores de substituição para compor o Valor de Prioridade de Substituição (VPS), escore utilizado para decisão e priorização. O método é bem aceito entre os profissionais de Engenharia Clínica por permitir ser aplicado em uma ampla gama de equipamentos e levar em consideração diversos coeficientes.

O primeiro parâmetro a ser avaliado leva em consideração características técnicas do equipamento em análise, sendo elas a idade do equipamento, e custo de manutenção, tempo de parada e fim de apoio do fabricante, atribuindo uma resposta binária em cada atributo. Seguindo a literatura americana o valor de estudo para a idade dos equipamentos médicos é de 7 anos, e o custo de manutenção de 15% em relação ao valor de aquisição do equipamento - considerando o intervalo dos 3 últimos anos. O tempo de parada é analisado em comparação ao tempo médio de paradas não previstas.

O segundo parâmetro compreende a análise da função do equipamento, podendo ser classificado como suporte à vida, terapia, diagnóstico/monitoração e análise/apoio/auxílio. O valor atribuído varia de acordo com a função em que o equipamento se enquadra.

O terceiro parâmetro, econômico, leva em consideração o aumento da receita e redução de despesas. Se a substituição representa uma redução de despesas recebe pontuação 1, o mesmo acontece se o processo permitir aumentar as receitas, podendo obter entre 0 e 2 pontos.

O quarto e último parâmetro explora a eficácia clínica do EMH, levando em consideração pontos como a preferência do usuário, aumento da padronização entre os equipamentos da instituição e melhoria do tratamento. Cada parâmetro recebe um peso no cálculo do VPS, a Figura 17 traz um resumo dos atributos analisados.

Atributo	Subatributo	Faixa de Valores	Pontuação
Características Técnicas (40%)	Idade	<, ≥ 7 anos	0,1
	Relação custos/preço	<, ≥ 15%	0,1
	Tempo de inatividade	<, ≥ x+1s	0,1
	End of Support	não, sim	0,1
Função do Equipamento (20%)	Suporte à vida		4
	Terapia		3
	Diagnóstico/monitoração		2
	Análise/apoio/auxílio		1
Econômico (20%)	Aumentar Receitas	não, sim	0,1
	Diminuir Custos	não, sim	0,1
Eficácia Clínica e Preferências (20%)	Melhor atendimento ao paciente	não, sim	0,1
	Preferência do Usuário	nenhuma, alguma, forte	0,1,2
	Padronização	não, sim	0,1

*Figura 177 - Método Multiparamétrico.
Fonte: Adaptada de Fennigkoh, 1992.*

O VPS pode ser calculado pela equação que segue:

$$VPS = 0,4 * (\text{carac. técnicas}) + 0,2 * (\text{função do equipamento}) + 0,2 * (\text{parâmetro econômico}) + 0,2 * (\text{eficácia clínica}) \quad (3)$$

onde:

- VPS ≥ 1,8 indica a recomendação de substituição nos próximos 12 meses, em caráter de urgência;
- $1,4 \leq VPS \leq 1,6$ indica a recomendação de substituição nos próximos 24 meses;
- $1,0 \leq VPS \leq 1,2$ indica a necessidade de reavaliar a substituição nos próximos 12 meses;
- VPS < 1,0 indica que o equipamento pode ser mantido em operação.

3.2.2. Método Econômico - Christer e Scarf, 1994

Em 1994 Christer e Scarf propuseram um modelo econômico para determinar em quanto tempo o equipamento deverá ser substituído e ainda o tempo de vida útil da nova incorporação. A equação matemática definida pelos autores leva em consideração todos os custos de operação no decorrer do Horizonte de Um Ciclo, termo usado para definir o tempo contado desde o instante atual até a substituição do

equipamento substituto. São contabilizados custos de manutenção, operação, custo referente a aquisição do novo equipamento descontado a receita que pode ser obtida com a revenda do equipamento atual e custos e penalidade - gastos provisionados para problemas com pacientes e operadores, indenizações, publicidade negativa e possíveis falhas.

O método proposto leva em consideração apenas a esfera econômica para decisão da substituição, desconsiderando a evolução tecnológica esperada e demais causas possíveis de substituição já elencadas neste trabalho. O modelo carrega uma incerteza devido à previsão de gastos de penalidade, e ainda, não considera atrasos na substituição no tempo determinado ideal e os possíveis custos derivados.

3.2.3. Árvore de Eventos - Cruz, 2002

A metodologia da Árvore de eventos proposta por Cruz (2002) utiliza uma árvore de possíveis falhas que direcionam ao evento final e consequente necessidade de substituição do equipamento. Cruz lista que os principais eventos que podem levar à substituição de um equipamento são:

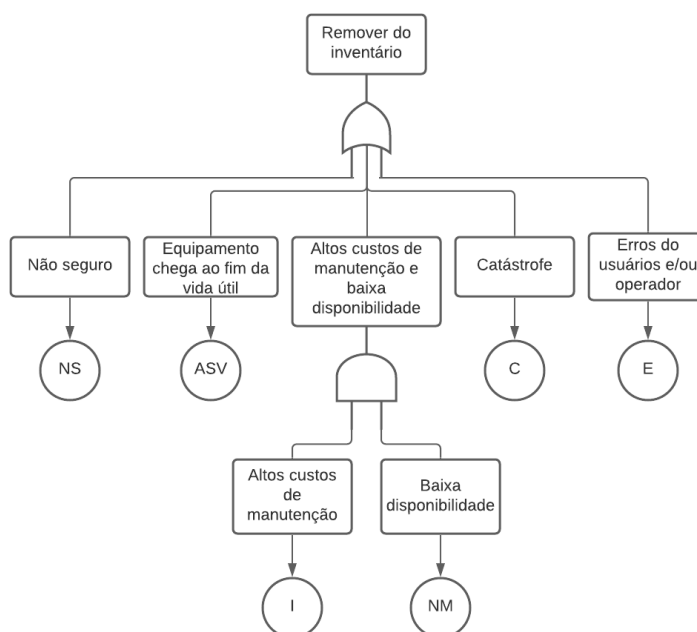
- Segurança (NS): quando o equipamento analisado pode causar acidentes aos pacientes ou operadores;
- Fim da vida útil (ASV): equipamento alcança a vida útil prevista pelo fabricante;
- Custos de manutenção (I): quando os custos de manutenção são economicamente inviáveis;
- Manutenção baixa (NM): quando a disponibilidade do equipamento está abaixo do esperado;
- Catástrofe (C): evento que torna o equipamento indisponível com substituição iminente;
- Erros (UErr and TErr): erros ocasionados pelos operadores e usuários que levam a necessidade de substituição.

Os eventos são dispostos em uma árvore que por meio da combinação de portas lógicas do tipo E/OU levam à substituição de um equipamento, como ilustrado na Figura 18. Ou seja, caso ocorra um dos eventos citados ou a combinação de alto

custo de manutenção e baixa disponibilidade, já que segundo o autor ambos caminham juntos, o evento final é certo.

Cruz quantifica a necessidade de substituição por meio da álgebra booleana, chegando à equação para cálculo do RUse. Caso resulte em valor igual ou maior que 1 o equipamento deverá ser substituído.

$$Ruse = NS + AVU + (I) * (NM) + C + UErr + TErr \quad (4)$$



*Figura 18 - Árvore de Eventos.
Fonte: Adaptada de Cruz, 2002.*

3.2.4. Metodologia para Avaliação de Equipamentos Biomédicos (MEEB) - Pacheco et al, 2002

A Metodologia para Avaliação de Equipamentos Biomédicos analisa a situação de um equipamento nos quesitos técnico, clínico e econômico. Em cada uma dessas esferas são analisados inúmeros atributos que podem ser considerados como Muito Importantes (MI) - se interrompem a operação de um equipamento de maneira irreversível, Importante (I) - se a interrupção ocorre de maneira reversível, ou Pouco Importante (PI) - se não interrompem o funcionamento do equipamento.

No quesito técnico (T) são avaliados atributos relacionados à funcionalidade e parâmetros técnicos do equipamento, como idade ponderada pela intensidade de uso, indisponibilidade por falhas, suporte de peças, suporte técnico de mão de obra, manual do usuário, manual de serviço, normas de segurança, especificações técnicas do equipamento e padronização do parque tecnológico.

A área clínica (C) compreende uma avaliação mais subjetiva baseada na assimilação do usuário sobre a utilidade, contribuição, confiabilidade, periodicidade de uso, facilidade de uso e utilidade do equipamento em relação a sua ausência.

No campo econômico (E) são avaliados os custos de operação de um equipamento por meio da análise de reposição, custo de manutenção sobre custo de reposição e custo de operação do equipamento avaliado no custo de operação do equipamento substituto.

Posteriormente a avaliação nos três campos é quantizada por meio do cálculo da V, conforme eq. (5), que representa nível de desempenho do equipamento e estado.

$$V = 0,45 * T + 0,30 * C + 0,25 * E \quad (5)$$

O resultado pode ser interpretado como:

- a) $V < 50\%$: equipamento em más condições, é recomendado substituição imediata;
- b) $50\% < V < 70\%$: equipamento em condições aceitáveis, reavaliar dentro dos próximos 12 meses;
- c) $V > 70\%$: equipamento em boas condições, reavaliar dentro dos próximos 36 meses.

3.2.5.Método Complexo de Planejamento de Substituição de Equipamentos - Dondelinger, 2003/2004

Dondelinger (2003/2004) propôs duas formas de priorização da substituição de equipamentos médico-hospitalares. A primeira considerava, em síntese, a data prevista para substituição do equipamento, calculada a partir da aquisição e tempo médio de vida útil, e os custos de manutenção. A partir desses dados os equipamentos

em análise de substituição podem ser ordenados, partindo da data de aquisição mais antiga.

Para atribuir um viés mais subjetivo ao método, Dondelinger sugeriu atribuir peso à soma de atributos como idade, custo e número de reparos, avanço tecnológico e plano para os próximos cinco anos. Os critérios tiveram pesos atribuídos a cada um deles e foram quantificados pela escala de Likert - uma escala de resposta psicométrica que contempla os extremos “concordo totalmente” e “discordo totalmente”.

3.2.6. Clark, 2004

Clark (2004) apresentou um método baseado na avaliação de parâmetros de idade, função, suporte do fabricante, segurança, falhas, padronização, regulamentação, custos de manutenção, problemas com usuários, entre outros. Cada um desses parâmetros recebe uma classificação que varia entre 0, 0,5 e 1. Além da classificação, são ponderados com pesos de baixo, médio ou alto. A partir de um algoritmo é possível chegar a uma priorização da substituição.

3.2.7. Sistema de planejamento de substituição de equipamentos (*Equipment Replacement Planning System*, ERPS) - Rajasekaran, 2005

Rajasekaran (2005) apresentou um método baseado num sistema automatizado para planejamento de substituição, *Equipment Replacement Planning System* (ERPS). O método parte do princípio da tomada de informações importantes sobre os equipamentos, o que envolve uma análise do histórico de cada um. As informações vão alimentar o banco de dados do ERPS que trabalhará com regras e pesos diferentes a partir da necessidade de cada hospital.

O sistema realiza a ordenação da substituição dos equipamentos a partir do cálculo do número relativo de substituição, RRN (*Relative Replacement Number*), que tem como parâmetros os valores normalizados de cada critério, peso e número de regras.

3.2.8. Planejamento de Substituição de Equipamentos - Grimes, 2006

O método de Planejamento de Substituição de Equipamentos proposto por Grimes (2006) analisa sete critérios, sendo eles o nível de utilização, estado da tecnologia, custo de manutenção anual planejado, tempo e condição de uso, aceitabilidade clínica, disponibilidade de peças e confiança projetada. A cada um desses critérios é atribuída uma classe – que varia entre excelente, muito bom, bom, ruim e muito ruim, e uma pontuação. Por fim os equipamentos são ordenados em prioridade de substituição de acordo com a pontuação obtida

3.2.9. Limites de Manutenção e Despesas (*Maintenance e Expenditure Limits*, MEL) - Albornoz, 2006

Albornoz apresentou uma metodologia que considera o cálculo dos custos máximos admissíveis com a manutenção dos equipamentos - MEL (*Maintenance e Expenditure Limits*). O cálculo resulta nos gastos previstos ao longo de toda vida útil do equipamento, através da equação:

$$MEL = (VS).(\%VUR).(FatorMel) \quad (6)$$

Onde:

VS - Valor de substituição;

% VUR - percentual da vida útil restante considerando a vida útil prevista do equipamento;

Fator Mel - definido pelo Headquarters Department of the Army em 90% para EMH.

3.2.10. Fator de Prioridade - Dreiss, 2008

Dreiss apresentou uma metodologia de priorização de substituição baseada no cálculo do Fator de Prioridade, conforme equação abaixo:

$$\text{Fator Prioridade} = (\text{peso} * \text{scores}), \quad (7)$$

Para tal são determinados pesos e scores para cada critério, que podem ser factual, segurança, técnica, financeiro e performance.

3.3. Definição Método Assertivo Para Aplicação na Substituição de Equipamentos de Raios-X

Tomado conhecimento a respeito dos principais métodos de avaliação de substituição de equipamentos, torna-se necessário definir qual método é mais assertiva para a classe de equipamentos em discussão. Foi possível observar métodos com viés fortemente quantitativo, e outras com viés qualitativo. Para empregar um método puramente quantitativo é imprescindível conhecer detalhadamente os valores tomados como critérios, como custos de manutenção, de operação, faturamento, vida útil do equipamento, entre outros.

Entra em debate o fato de que um método puramente econômico pode não contemplar todas as possíveis causas que desencadeiam uma substituição e devem ser analisadas. Um levantamento dos custos máximos de manutenção, por exemplo, nada diz sobre a segurança do paciente, percepção do usuário ou melhoria no diagnóstico. De forma geral, os métodos multiparamétricos, que associam critérios quantitativos e qualitativos, como os propostos por Fennigkoh e Pacheco et al, são mais amplos e podem contribuir de maneira significativa para a tomada de decisão.

3.4. Viabilidade Financeira

Definida a real necessidade de substituição de um EMH, outro importante ponto vem à baila: a viabilidade financeira do processo de aquisição da nova tecnologia. Além do custo do investimento de aquisição em si, muitos são os custos iniciais e fixos para incorporar e manter um equipamento em seu estado da arte.

Entre os custos iniciais pode-se incluir obras de adaptação da sala, se necessário, e compra de periféricos cruciais à instalação do aparelho, como nobreak, quadro de força. Além desses, os custos fixos para manter um equipamento em operação devem ser levados em consideração. Como custos com operadores, incluindo técnicos e médicos, contratos de manutenção, gastos com consumo de energia, aluguel e parcelas de financiamento se aplicável.

Além das despesas, um estudo sobre a viabilidade financeira de um projeto deve considerar as receitas que o mesmo trará à instituição. No caso de EMH, uma previsão de faturamento deve levar em conta o número médio de procedimentos que o mesmo realizará e valor de retorno correspondente. O valor de retorno inclui as modalidades de atendimentos particulares, conveniados ou atendimentos ao Sistema Único de Saúde (SUS).

Por meio da análise da viabilidade financeiro da aquisição de um novo equipamento é possível gerar indicadores primordiais, como:

- A. **Taxa interna de retorno (TIR)** – métrica para análise do retorno financeiro de um projeto;
- B. **Payback** – é o tempo de retorno de um investimento;
- C. **Valor Presente Líquido (VPL)** - valor presente de pagamentos futuros descontado o custo do investimento inicial. Um resultado negativo indica que o projeto trouxe mais gastos do que lucros
- D. **Taxa Mínima de Atratividade (TMA)** - retorno mínimo que se deseja obter em um projeto.

Partindo da necessidade de uma ferramenta que auxilie no processo de análise da viabilidade financeira, é proposto a seguir uma planilha baseada em métodos simples desenvolvidas no editor do pacote Office, da Microsoft, o Excel.

3.4.1. Ferramenta para Estudo da Viabilidade Financeira

A ferramenta proposta partiu de algumas premissas e desdobramentos, que puderam estimar a Taxa Interna de Retorno e Valor Presente Líquido do projeto, analisando um intervalo de 10 anos. Num primeiro momento foram definidos alguns parâmetros que servirão de base para a ferramenta:

3.4.1.1. Premissas

Valor do Investimento: valor de aquisição do objeto substituto, para equipamentos importados foi levada em consideração a taxa de câmbio da moeda utilizada.

Valor	
Valor Nacionalizado USD	\$ 150.000
Valor Nacionalizado BRL	R\$ 810.000,00
Câmbio	R\$ 5,40

Figura 19 - Valor do Investimento.

Fonte: o autor.

Para cálculo do Valor Nacionalizado em reais foi realizado:

$$\text{Valor Nacionalizado BRL} = \text{Valor Nacionalizado USD} * \text{Câmbio} \quad (8)$$

Financiamento: aplicado para projetos com custeamento das despesas de aquisição por meio de um financiamento. Podem ser trabalhadas as variáveis de valor de sinal, número de parcelas, valor da parcela, carência e juros.

Sinal	50%		R\$	405.000
Valor Financiado			R\$	405.000
# de parcelas (meses)		48		
Valor da Parcela				R\$ 11.841,26
Carência (anos/meses)				3
Juros (a.m.)				1,10%
Juros (a.a.)				14,0%

Figura 19 - Financiamento

Fonte: o autor.

O valor financiado foi determinado a partir do Valor Total Nacionalizado e do sinal, pagamento inicial, estipulado, conforme segue:

$$\text{Valor Financiado} = \text{Valor Total Nacionalizado BRL} - \text{Valor Total Nacionalizado BRL} * \text{Sinal} \quad (9)$$

Para cálculo do valor da parcela, foi utilizada o número de parcelas e taxa de juros ao mês previamente informados. Por meio destes e do valor total financiado foi calculado o Valor Futuro (VF), que projeta o valor de um investimento baseado numa série de pagamentos a uma taxa de juros constante. O VF pode ser calculado através da fórmula expressa na eq. (10), levando em consideração o Valor Presente (VP), taxa de juros (i) e número de parcelas (n).

$$VF = VP * (1 + i)^n \quad (10)$$

No Excel o VF pode ser obtido utilizando a função financeira VF, eq. (11).

$$VF(\text{taxa}, \text{nper}, \text{pgto}, [\text{vp}], [\text{tipo}]) \quad (11)$$

Onde:

Taxa = taxa de juros por período;

Nper = número de parcelas, descontado a carência em meses;

Pgto = Pagamento feito a cada período;

VP = opcionalmente pode-se incluir o valor presente ou a soma total correspondente ao valor presente de uma série de pagamentos futuros;

Tipo = opcionalmente pode-se incluir a data de vencimento dos pagamentos

Calculado o valor total por meio de VF, foi possível determinar o valor das parcelas através da função financeira PGTO, que calcula o pagamento de um empréstimo de acordo com pagamentos constantes e com uma taxa de juros constante, eq. (10).

$$PGTO(\text{taxa}, \text{nper}, \text{va}, [\text{vf}], [\text{tipo}]) \quad (12)$$

Onde:

Taxa = taxa de juros por período;

Nper = número de parcelas, descontado a carência em meses;

VA = valor presente, ou a quantia total agora equivalente a uma série de pagamentos futuros;

VF = opcionalmente pode-se incluir o valor futuro;

Tipo: opcionalmente pode-se incluir a data de vencimento dos pagamentos.

Investimentos iniciais: aqui podem ser incluídos a estimativa de gastos iniciais do projeto, além do valor de aquisição em si. O valor foi encontrado através da soma do sinal e dos demais investimentos iniciais levantados.

Investimentos Iniciais		
Obra da Sala	R\$	10.000,00
Quadro de Força	R\$	8.000,00
Controle de temperatura e umidade	R\$	5.500,00
Ar-Condicionado	R\$	2.000,00
No Break	R\$	200,00
Sinal	R\$	405.000
Total	R\$	430.700

Figura 20 - Investimentos Iniciais.

Fonte: o autor.

Custos Fixos: despesas recorrentes. O valor foi encontrado através da soma dos custos recorrentes levantados e do valor da parcela do financiamento, calculado anteriormente.

Custos Fixos		
Financiamento	R\$	11.841,26
Consumo Total	R\$	2.000,00
Aluguel	R\$	25.000,00
Médico Radiologista	R\$	15.000,00
Técnico Radiologista	R\$	6.000,00
Funcionários	R\$	4.000,00
Contrato de Manutenção	R\$	10.000,00

Figura 21 - Custos Fixos.

Fonte: o autor.

Impostos: impostos pagos sobre serviços prestados, segundo pesquisas o Imposto Sobre Serviços no estado de São Paulo em 2019 para análises clínicas, patologia, eletricidade médica, radioterapia, quimioterapia, ultra-sonografia, ressonância magnética, radiologia, tomografia e congêneres é de 2,00%.

Volumetria de exames: aqui se estima quantos procedimentos serão realizados pelo equipamento, nas diferentes modalidades de atendimento.

Valor dos Exames: valor médio de retorno dos exames a depender do tipo de atendimento - particular, convênio ou SUS.

Valor dos Exames			
Valor mensal (médio)			
Atendimento	SUS	Convênio	Particular
Valor (R\$)	R\$ 1.600,00	R\$ 4.000,00	R\$ 8.000,00
Valor (R\$)/ exame	R\$ 40,00	R\$ 100,00	R\$ 200,00

*Figura 22 - Valor dos Exames.
Fonte: o autor.*

Garantia: tempo de garantia, meses, pois no período de garantia podem ser eliminados custos fixos de manutenção.

TMA: taxa mínima de atratividade esperada com o novo equipamento.

3.4.1.2. Desdobramentos

Receita: a partir das premissas de volumetria e valor dos exames é possível determinar a receita gerada pelo equipamento, seguindo eq. (13).

$$\text{Receita} = (\text{valor_exame_SUS} * \text{número_exame_SUS}) + (\text{valor_exame_convênio} * \text{número_exame_convênio}) + (\text{valor_exame_particular} * \text{número_exame_particular}) \quad (13)$$

Ano 1

Receita						
Valor (R\$)	SUS		Convênio		Particular	
	R\$		R\$		R\$	
	40,00		100,00		200,00	

Volume mensal (média)			TOTAL
40	40	40	120

Volume mensal (média)			TOTAL
40	47,2	48	135

Ano 2

Receita						
Valor (R\$)	SUS		Convênio		Particular	
	R\$		R\$		R\$	
	40,00		100,00		200,00	

Volume mensal (média)			TOTAL
40	40	40	120

Volume mensal (média)			TOTAL
40	47,2	48	135

Receita

	SUS	Convênio	Particular	VOLTAR
Crescimento	0	18%	20,0	
Quantidade de exames hoje	40,00	40,00	40,00	
Quantidade de exames no futuro	40,00	47,20	48,00	
	0%	18%	20%	

Receita (mês)			TOTAL
R\$ 19.200,00	R\$ 48.000,00	R\$ 96.000,00	R\$ 163.200,00

Receita (mês)			TOTAL
R\$ 19.200,00	R\$ 56.640,00	R\$ 115.200,00	R\$ 191.040,00

17,06%

Receita

	SUS	Convênio	Particular	VOLTAR
Crescimento	0	18%	20,0	
Quantidade de exames hoje	40,00	40,00	40,00	
Quantidade de exames no futuro	40,00	47,20	48,00	
	0%	18%	20%	

Receita (mês)			TOTAL
R\$ 19.200,00	R\$ 48.000,00	R\$ 96.000,00	R\$ 163.200,00

Receita (mês)			TOTAL
R\$ 19.200,00	R\$ 56.640,00	R\$ 115.200,00	R\$ 191.040,00

17,06%

Figura 23 - Receita.
Fonte: o autor.

Também foi proposta uma taxa de crescimento anual no número de exames, e consequentemente na receita gerada. Dada a taxa de crescimento desejada em cada categoria de atendimento pode ser estipulado o número de exames no ano seguinte, através da eq. (12). A partir da quantidade de exames no futuro pode ser estimada a nova receita e o crescimento correspondente ao ano anterior.

$$\text{Qntd_exames_futuro} = \text{Qntd_exames_atual} + (\text{Qntd_exames_atual} * \text{Crescimento}) \quad (14)$$

Custos Fixos Desdobrados: custos fixos ampliados no período de análise, aqui proposta 10 anos, levando em consideração fatores como carência, número de parcelas do financiamento e tempo de garantia. O valor reflete a soma de todos os custos recorrentes levantados anteriormente.

Custos fixos desdobrados												
	Ano 1											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	jan/21	fev/21	mar/21	abr/21	mai/21	jun/21	jul/21	ago/21	set/21	out/21	nov/21	dez/21
Financiamento	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.841	11.841	11.841
Funcionários	-	-	-	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Consumo Total	-	-	-	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Aluguel	-	-	-	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000
Médico Radiologista	-	-	-	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
Técnico Radiologista	-	-	-	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Contrato de Manutenção	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL (Ano)	-	-	-	52.540	52.540	52.540	52.540	52.540	52.540	64.381	64.381	64.381

Figura 24 - Custos Fixos Desdobrados.
Fonte: o autor.

Fluxo: a partir das receitas e despesas estipuladas foi projetado um fluxo de caixa resultando nos valores de receita bruta, lucro bruto, lucro líquido e fluxo de caixa acumulado, conforme exposto nas eq.(15) a (20):

$$\text{Impostos(BRL)} = \text{Receita} * \text{Impostos (\%)} \quad (15)$$

$$\text{Lucro Bruto(BRL)} = \text{Receita} - \text{Impostos} \quad (16)$$

$$\text{Margem Bruta (\%)} = \frac{\text{Lucro Bruto}}{\text{Receita}} \quad (17)$$

$$\text{Lucro Líquido(BRL)} = \text{Lucro Bruto} - \text{Custos Fixos} \quad (18)$$

$$\text{Lucro Líquido (\%)} = \frac{\text{Lucro Líquido}}{\text{Receita}} \quad (19)$$

$$\text{Fluxo de Caixa Acumulado} = \text{Lucro Líquido} + \text{Fluxo de Caixa Mês Anterior} \quad (20)$$

7. Fluxo												
	Ano 1											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	abr/21	mai/21	jun/21	jul/21	ago/21	set/21	out/21	nov/21	dez/21	jan/22	fev/22	mar/22
(BRL) Receita Bruta					163.200	163.200	163.200	163.200	163.200	163.200	163.200	163.200
(%) Impostos					2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
(BRL) Impostos					3.264	3.264	3.264	3.264	3.264	3.264	3.264	3.264
(BRL) Lucro Bruto					159.936	159.936	159.936	159.936	159.936	159.936	159.936	159.936
(%) Margem Bruta					98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
(BRL) Custos Fixos	430.700	-	-	52.540	52.540	52.540	52.540	52.540	52.540	64.381	64.381	64.381
(BRL) Lucro Líquido	-	430.700	-	-	52.540	107.396	107.396	107.396	107.396	95.555	95.555	95.555
(%) Lucro Líquido					66%	66%	66%	66%	66%	59%	59%	59%
(BRL) Fluxo de caixa acumulado		- 430.700	- 430.700	- 483.240	- 375.844	- 268.448	- 161.052	- 53.656	53.740	149.295	244.849	340.404
		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

Figura 25 - Fluxo.

Fonte: o autor.

A partir do momento em que o Fluxo de Caixa Acumulado for maior ou igual ao valor do investimento inicial, determinado anteriormente, tem-se o período, em meses, necessário para retorno do investimento – Payback.

Fluxo-ano: resumo anual do fluxo previsto.

Fluxo - Ano												
	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	
(BRL) Receita Bruta		R\$ 1.305.600,00	R\$ 2.292.480,00	R\$ 2.691.302,40	R\$ 3.167.442,43	R\$ 3.735.923,19	R\$ 4.414.693,11	R\$ 5.225.196,76	R\$ 6.193.057,25	R\$ 7.348.892,04	R\$ 8.729.288,39	
(%) Impostos		2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	
(BRL) Impostos		R\$ 26.112,00	R\$ 45.849,60	R\$ 53.826,05	R\$ 63.348,85	R\$ 74.718,46	R\$ 88.293,86	R\$ 104.503,94	R\$ 123.861,14	R\$ 146.977,84	R\$ 174.585,77	
(BRL) Lucro Bruto		R\$ 1.279.488,00	R\$ 2.246.630,40	R\$ 2.637.476,35	R\$ 3.104.093,58	R\$ 3.661.204,73	R\$ 4.326.399,25	R\$ 5.120.692,82	R\$ 6.069.196,10	R\$ 7.201.914,20	R\$ 8.554.702,62	
(%) Margem Bruta		98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	
(BRL) Custos Fixos		R\$ 939.083,78	R\$ 862.575,13	R\$ 892.575,13	R\$ 892.575,13	R\$ 750.480,00	R\$ 750.480,00	R\$ 750.480,00	R\$ 750.480,00	R\$ 750.480,00	R\$ 750.480,00	
(BRL) Lucro Líquido	-R\$ 430.700,00	R\$ 771.104,22	R\$ 1.384.055,27	R\$ 1.744.901,22	R\$ 2.211.518,45	R\$ 2.910.724,73	R\$ 3.575.919,25	R\$ 4.370.212,82	R\$ 5.318.716,10	R\$ 6.451.434,20	R\$ 8.341.842,14	
(%) Lucro Líquido		59%	60%	65%	70%	78%	81%	84%	86%	88%	96%	
(BRL) Fluxo de caixa acumulado	0	R\$ 340.404,22	R\$ 1.724.459,48	R\$ 3.469.360,70	R\$ 5.680.879,16	R\$ 8.591.603,88	R\$ 12.167.523,13	R\$ 16.537.735,95	R\$ 21.856.452,06	R\$ 28.307.886,25	R\$ 36.649.728,39	

Figura 26 - Fluxo-ano.

Fonte: o autor.

3.4.1.3. Resultado

A partir das premissas, desdobramentos e com o auxílio das funções para cálculo do Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno disponíveis no Microsoft Excel encontrou-se os valores de TIR e VPL e o tempo em meses previsto para retorno do investimento, Payback.

A Taxa Interna de Retorno representa a viabilidade de um projeto através de um valor percentual. Para isso os valores de fluxo de caixa são zerados, pensando em um projeto que não gera lucros e nem prejuízos. Então, para o cálculo são consideradas o fluxo de caixa descontado o investimento inicial e igualado a zero, eq. (21).

$$\sum_{x=1}^n \frac{\text{Fluxo de Caixa}}{(1 + TIR)^x} - \text{Investimento Inicial} = 0 \quad (21)$$

No Excel a função TIR retorna o valor percentual a partir da sintaxe:

$$TIR: (\text{valores}, [\text{suposição}]) \quad (22)$$

Onde:

Valores = Uma matriz ou uma referência a células que contêm números cuja taxa interna de retorno se deseja calcular, no caso foi referenciado o Lucro Líquido determinado pelo Fluxo-Anual.

Suposição = Um número que se estima ser próximo do resultado de TIR, no caso a Taxa Mínima de Atratividade.

O Valor Presente Líquido representa o valor líquido atual de um investimento utilizando a taxa de desconto e uma série de futuros pagamentos (valores negativos) e receita (valores positivos). Tomando n como o número de fluxos de caixas, o VPL pode ser determinado como:

$$\sum_{x=1}^n \frac{\text{Fluxo de Caixa}}{(1 + \text{taxa de juros})^x} \quad (23)$$

No Microsoft Excel o VPL pode ser calculado por uma função financeira, descrita abaixo:

$$VPL = (taxa, valor1, [valor2], \dots) \quad (24)$$

Onde:

Taxa = taxa de desconto sobre o intervalo de um período;

Valor1; valor2; = argumentos de que representam os pagamentos e a receita.

A partir dos resultados de TIR e VPL pode-se estabelecer a viabilidade do projeto, baseado em:

A. $TIR > TMA$ indica que o VPL é positivo e o projeto é viável;

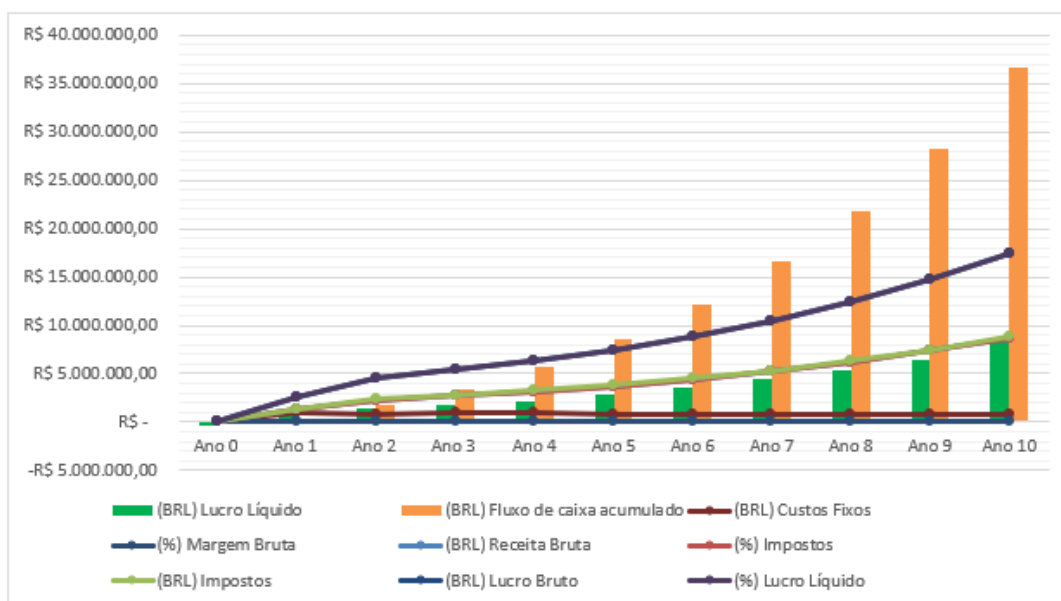
B. $TIR < TMA$ indica VPL negativo e inviabilidade do projeto.

Também estipulada uma escala de classificação do Payback para análise da viabilidade do projeto, onde determinou-se que:

A. Projeto com retorno rápido: Payback em menos de 60 meses;

B. Projeto com retorno médio: Payback em menos de 120 meses;

C. Projeto com retorno lento: Payback em mais de 120 meses.



c

Retorno do Investimento em	13	Meses
TIR	234%	●
VPL	R\$ 12.146.718	
TMA	15%	

● Retorno do Investimento em menos de cinco anos
 ● Retorno do Investimento em menos de dez anos
 ● Retorno do Investimento em mais de dez anos

Figura 27 - Viabilidade Financeira do Projeto.
Fonte: o autor.

3.5. Aplicação Prática

Conhecendo toda a tecnologia de um equipamento de Raios-X e os avanços da tecnologia ao longo do tempo, os principais motivos e métricas para substituição de um equipamento e os parâmetros importantes para analisar a viabilidade da nova aquisição, será apresentado um cenário para aplicação do fluxo proposto neste estudo.



Figura 29 - Fluxo para tomada de decisão processo substituição de equipamentos de Raios-X.Fonte: o autor.

Para aplicação será utilizado um caso de conhecimento do autor, que possui um equipamento de Raios-X da marca Siemens operando há 58 anos ininterruptos. O equipamento, de origem analógica, opera com sistema de placas digitalizadoras. Em suma, a necessidade de substituição se dá, inicialmente, pelo avanço tecnológico encontrado nos equipamentos atuais, no marketing e impacto social da compra e pelo fim do suporte de peças e serviços pelo fabricante. Dada a necessidade, será aplicado um dos métodos multiparamétricos apresentados nesse estudo, o método de Fennigkoh e, de acordo com o Valor de Priorização de Substituição, será analisada a viabilidade financeira da futura aquisição.

3.5.1. Aplicação Do Método Multiparamétrico

O método multiparamétrico de Fennigkoh parte do princípio da análise dos atributos técnicos, econômicos, função do equipamento e eficácia clínica.

A. Técnicos:

- a. Idade: 58 anos;
- b. Relação custo/preço: desconhecida;
- c. Tempo de inatividade: desconhecido;
- d. End of Support: sim.

B. Função do equipamento: diagnóstico.

C. Econômicos:

- a. Aumentar Receitas: sim, já que um equipamento de radiologia nativo digital aumenta a produtividade consequentemente aumenta a receita gerada;
- b. Diminuir Custos: sim, visto que um equipamento no início de sua vida útil trará menos gastos com manutenção e, além disso, um equipamento

de Raios-X nativo digital ajuda a diminuir os custos relacionados a compra de cassetes e impressão de filmes.

D. Eficácia clínica:

- a. Melhor atendimento ao paciente: sim, principalmente pela diminuição da radiação aplicada, os equipamentos de Raios-X digitais garantem um melhor um melhor e mais seguro atendimento ao paciente;
- b. Preferência do usuário: alguma, os equipamentos de Raios-X digitais agilizam o dia a dia dos profissionais com o uso, por exemplo, de programa de órgãos com métricas de exposição já definidas;
- c. Padronização: indiferente, pois será analisada a possível aquisição de um equipamento da mesma marca, Siemens.

A partir dos pontos levantados foi possível definir a pontuação de cada atributo e calcular o Valor de Priorização de Substituição:

Tabela 1 - Aplicação do Método Multiparamétrico de Fennigkoh.

Atributo	Subatributo	Pontuação
Características Técnicas (40%)	Idade	1
	Relação custos/preço	0
	Tempo de inatividade	0
	End of Support	1
Função do Equipamento (20%)	Suporte à vida	0
	Terapia	0
	Diagnóstico/monitoração	2
	Análise/apoio/auxílio	0
Econômico (20%)	Aumentar Receitas	1
	Diminuir Custos	1
Eficácia Clínica e Preferências (20%)	Melhor atendimento ao paciente	1
	Preferência do Usuário	1
	Padronização	0

Fonte: o autor.

$$VPS = (0,4 * 2) + (0,2 * 2) + (0,2 * 2) + (0,2 * 2) = 2,0 \quad (21)$$

De acordo com classificação proposta na literatura, valores de VPS acima de 1,8 indicam a recomendação de substituição nos próximos 12 meses, em caráter de urgência. Portanto, através da metodologia proposta por Fennigkoh foi comprovada a real necessidade de substituição do equipamento apresentado. Agora, serão analisadas as variáveis relacionadas à nova aquisição.

3.5.2. Aplicação Da Ferramenta para Estudo da Viabilidade Financeira

Como proposta de aquisição foi analisado o portfólio da Siemens Healthineers, mesmo fabricante do equipamento em análise de substituição, e é sugerido o sistema de radiografia de piso MULTIX Impact, equipamento de Raios-X nativo digital, Figura 30. O processo de análise dos candidatos a aquisição deve ser realizado pelo Engenheiro Clínico, e devem ser analisados os parâmetros técnicos comparativos entre os equipamentos. A MULTIX Impact é apresentada pelo fabricante como:

“MULTIX Impact é um sistema avançado de radiografia montado no chão com inteligência integrada para auxiliar o usuário. Seu preço econômico melhora o acesso ao atendimento, enquanto seu desempenho confiável oferece atendimento de alta qualidade para diversos pacientes, mesmo nos horários de pico.” Disponível em: <https://www.siemens-healthineers.com/br/radiography/digital-x-ray/multix-impact>. Acesso em 11 de janeiro de 20201.



Figura 280 - MULTIX Impact.

Disponível em: <<https://www.siemens-healthineers.com/br/radiography>>. Acesso em: 19 de janeiro de 2021.

Para utilização da ferramenta proposta, primeiramente foram levantados os dados para estabelecimento das premissas:

- a) Valor Total Nacionalizado USD: segundo pesquisas o valor em dólares do equipamento citado é de USD 110.000,00;
- b) Financiamento: Foi considerado um sinal de 50%, 60 parcelas e carência de 2 meses;

- c) Juros (a.m): segundo pesquisas, a taxa de juros do Crédito Pessoal da Caixa Econômica Federal é a partir de 2,29% a.m.. Cabe ressaltar que o valor pode variar drasticamente em relação ao banco, ao valor financiado e número de parcelas.
- d) Investimentos Iniciais e custos fixos: os custos recorrentes e iniciais foram obtidos empiricamente;
- e) Valor dos Exames: foi realizada uma média entre os diferentes tipos de exames de Raios-X e valores de acordo com a Tabela de Procedimentos, Medicamentos, Órteses, Próteses e Materiais Especiais do SUS, valores para exames particulares e 50% para os valores de convênio em relação aos particulares.
- f) TMA: foi estabelecida Taxa Mínima de Atratividade de 15%;
- g) Crescimento: foi projetado crescimento de 0% para atendimento SUS, 8% para atendimento a convênios e 6% para atendimentos particulares.

A partir dessas premissas a ferramenta trouxe os seguintes resultados:

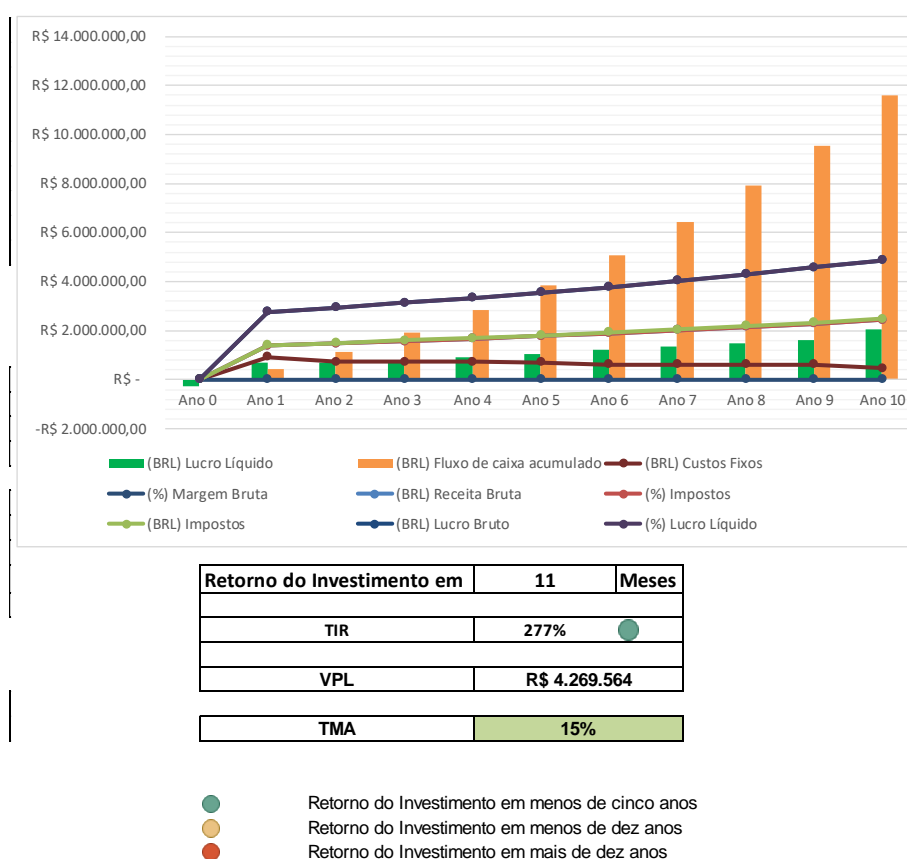


Figura 29 - Análise da Viabilidade Financeira do Estudo de Caso.
Fonte: o autor.

São apresentados os seguintes resultados: Valor Presente Líquido positivo, uma Taxa Interna de Retorno de 277%, uma Taxa de Atratividade menor que a Taxa Interna de Retorno e um Payback ajusta de 11 meses indicando a viabilidade e vantagem do projeto. As premissas, desdobramentos e resultados seguem na íntegra no Apêndice A.

4. CONCLUSÃO

A realização deste trabalho possibilitou trazer uma contextualização teórica sobre a tecnologia de radiodiagnóstico, desde sua descoberta até os avanços dos equipamentos atuais, justificando muitas vezes a necessidade de substituição por uma nova tecnologia. Foi abordado, em resumo, sobre os princípios físicos da tecnologia, e todos os processos de manutenção ao qual podem ser submetidos.

Através de estudos literários sobre o tema de substituição de equipamentos médico-hospitalares foi possível identificar a carência de processos pré-definidos. A falta de ferramentas de apoio à decisão e de estudo sobre a viabilidade do negócio dificulta o Engenheiro Clínico a justificar e comprovar a necessidade e viabilidade do projeto. Desta forma, foi realizado um estudo sobre os principais métodos de avaliação de substituição de equipamentos médico-hospitalares, conhecendo os critérios abordados em cada um. A partir desse ponto foi sugerido a aplicação de um método multiparamétrico, por poder ser aplicado a uma ampla gama de equipamentos e levar em consideração aspectos quantitativos e qualitativos.

Definida a real necessidade da substituição de uma tecnologia médica, outro ponto que vem à tona é a viabilidade da aquisição de um novo equipamento. Para estipular a necessidade, foi proposta uma ferramenta simples e intuitiva, desenvolvida no Microsoft Excel. A partir da qual é possível obter métricas como previsão de receita, custos fixos, fluxo e também o tempo de retorno do investimento.

Por fim, foi aplicado o método Multiparamétrico de Fennigkoh em um estudo de caso de possível necessidade de substituição de uma tecnologia ultrapassada de radiodiagnóstico. Comprovada a real necessidade através do método foi utilizada a ferramenta proposta para analisar a viabilidade da aquisição do novo equipamento, com tecnologia superior.

Assim, como contribuição da pesquisa, o Engenheiro Clínico terá um processo definido para apoio caso se depare com a necessidade de substituição de um equipamento de Raios-X. Conhecendo as particularidades de outras classes de equipamentos, custos, receitas, e tecnologias disponíveis, o fluxo de tomada de decisão proposto poderá ter seu uso ampliado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBORNOS, L. J. C. **Determinação do Ciclo de Vida útil de Equipamentos Médicos**. 2000. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em: < <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/78135>>. Acesso em: 29 de novembro de 2020.

ALBUQUERQUE, A. S. DE. et al. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS RADIOGRÁFICOS CONVENCIONAIS E DIGITAIS; REVISÃO DE LITERATURA**. Caderno de Graduação - Ciências Biológicas e da Saúde - UNIT - PERNAMBUCO, v. 2, n. 3, p. 99, 2017. Disponível em: < <https://periodicos.set.edu.br/facipesaude/article/view/3173>>. Acesso em: 01 de dezembro de 2020.

AMORIM, A. S.; PINTO JUNIOR, V. L.; SHIMIZU, H. E. **O desafio da gestão de equipamentos médico-hospitalares no Sistema Único de Saúde**. Saúde debate, Rio de Janeiro, v. 39, n. 105, p. 350-362, 2015. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-11042015000200350&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 25 de novembro de 2020.

ANTUNEZ, S. **Planejamento estratégico para substituição e incorporação de tecnologias na área de saúde**. 2000. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em: < <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/78609>>. Acesso em: 29 de novembro de 2020.

Aspectos da Segurança no Ambiente Hospitalar. Desenvolvido por Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <https://www.anvisa.gov.br/servicos/audite/manuais/manual_seg_hosp.htm>. Acesso em 30 de novembro de 2020.

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Ciência e Tecnologia. **Diretrizes metodológicas : elaboração de estudos para avaliação de equipamentos médicos-assistenciais** / Ministério da

Saúde, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, Departamento de Ciência e Tecnologia – 1. ed., 1. reimpr. – Brasília: Ministério da Saúde, 2014. 96 p. Disponível em: <
http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_metodologicas_equipamentos_medicos_1edicao.pdf>. Acesso em 1 de dezembro de 2020.

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde. Projeto REFORSUS. **Equipamentos Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção: capacitação a distância** / Ministério da Saúde, Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde, Projeto REFORSUS. – Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2002. 709 p. (Série F. Comunicação e Educação em Saúde). Disponível em: <
http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/equipamentos_gerenciamento1.pdf>. Acesso em 10 de novembro de 2020.

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria-Executiva. Área de Economia da Saúde e Desenvolvimento. **Avaliação de tecnologias em saúde: ferramentas para a gestão do SUS** / Ministério da Saúde, Secretaria-Executiva, Área de Economia da Saúde e Desenvolvimento. – Brasília : Editora do Ministério da Saúde, 2009. 110 p. (Série A. Normas e Manuais Técnicos). Disponível em: <
http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/avaliacao_tecnologias_saude_ferramentas_gestao.pdf>. Acesso em: 10 de dezembro de 2020.

BRITO, L. F. M. **Clinical Engineering in Brazil**. In: DYRO, J. (Ed.) Clinical Engineering Handbook. Burlington: Elsevier Academic Press, 1ª edição, 2004. Cap. 20, p. 69- 72.

BURMESTER, H.; HERMINI, A. H.; FERNANDES, J. A. L. **Gestão de materiais e equipamentos hospitalares**. São Paulo: Saraiva, 1ª edição, 2013.

BUSHBERG, J. T.; SEIBERT, J. A.; LEIDHOLD, E. M.; BOONE, J. M. **The Essential Physics of Medical Imaging**, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 3ª edição, 2012.

CALIL, S. J.; TEIXEIRA, M. S. **Gerenciamento de manutenção de equipamentos hospitalares**. São Paulo: Editora Fundação Peirópolis LTDA, 1998.

CAMPBELL, C. **Hospital plant and equipment replacement decisions: a survey of hospital financial managers.** *Hospital & health services administration*, v. 39, n. 4, p. 538–558, 1994. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10138722/>>. Acesso em: 19 de dezembro de 2020.

CASTILHO, J. M. L.; LOPRETO, A. C. R.; BUZO, P. R. J. R.; BASAGLIA, R. **A evolução dos aparelhos de Raios X.** *Revista Conexão Eletrônica*. v. 11, n. 1/1 p. 110-117, 2014.

CHRISTER, A. H.; SCARF, P. A. **A robust replacement model with applications to medical equipment.** *Journal of the Operational Research Society*, v. 45, p. 261-275, 1994.

CLAPHAM, J. C. R. **Economic Life of Equipment.** *Operational Research Quarterly*, v. 8, n. 4, p. 181-190, 1957.

CLARK, T. **Health care technology replacement planning.** In: DYRO, J. (Ed.) *Clinical Engineering Handbook*. Burlingto: Elsevier Academic Press, 1ª edição, 2004. Cap. 42, p. 153- 154.

CRUZ, A. M.; DENIS, E. R.; VILLAR, M. C. S.; GONZALEZ, L. M. L. **An Event-Tree-Based Mathematical Formula for The Removal of Biomedical Equipment From a Hospital Inventory.** *Journal of Clinical Engineering*, v. 27, P. 63–71, 2002. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/232209949_An_Event-Tree-Based_Mathematical_Formula_for_The_Removal_of_Biomedical_Equipment_From_a_Hospital_Inventory >. Acesso em: 05 de janeiro de 2021.

DA COSTA, H. **Ensaio Mecânicos.** São Paulo: Estácio, 1ª edição, 2019.

Despesas com manutenção e assistência técnica. Desenvolvido por Associação Nacional de Hospitais Privados. Disponível em: <<https://www.anahp.com.br/produtos-anahp/observatorio/observatorio-anahp-2015>>. Acesso em: 12 de dezembro de 2020.

DICKERSON, M. L.; JACKSON, M. E. **Technology management: a perspective on system support, procurement, and replacement planning.** *Journal of clinical engineering*, v. 17, n. 2, p. 129–136, 1992. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10118350/>>. Acesso em 19 de dezembro de 2020.

DONDELINGER, R. M. **A complex method of equipment replacement planning.** Biomedical Instrumentation & Technology, Vol. 38, p. 26-31, 2004.

DOS SANTOS, F. A. S. **Proposta de sistema para obtenção de indicador de apoio no processo de decisão de substituição de tecnologia médico-hospitalar.** 2009. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/92463>>. Acesso em: 29 de novembro de 2020.

DREISS, A. **When does medical equipment need to be replace?** Journal of Clinical Engineering, v. 33, p. 78-81, 2008.

DUARTE, R. F.; OLIVEIRA, B. A.; SOUZA, E. **Modelagem elétrica de tubos de Raios-X utilizados em sistemas de fluoroscopia com o objetivo de minimizar a radiação transmitida ao paciente.** Revista E-xacta, v. 10, n. 1, p. 53-66, 2017. Disponível em: <<https://revistas.unibh.br/dcet/article/view/2141>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2020.

FENELON, S. **A História da Radiologia no Brasil.** Revista MED Atual, v. 27, 2005.

FENELON, S.; ALMEIDA, S. S. **Dr. José Carlos Ferreira Pires - Pioneiro da Radiologia na América do Sul.** Revista da Imagem, v. 22, n. 4, 2000.

FENNIGKOH, L. **Medical equipment replacement model.** Journal of Clinical Engineering, v. 17, n. 1, p. 43-47, 1992.

FIGUEIREDO, E. P. **Desenvolvimento de um sistema de gestão de equipamentos médico hospitalares e leitos para estabelecimentos de assistência à saúde.** 2019. 69f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Biomédica) - Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Biomédica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. Disponível em: <<https://monografias.ufrn.br/jspui/handle/123456789/9367>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2021.

FIGUEIREDO, L. M. J. **Modelo multicritério de apoio à substituição de equipamentos médicos hospitalares.** 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa,

Lisboa, 2009. Disponível em: <
<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/cursos/mebiom/dissertacao/2353642255635>> . Acesso
em: 14 de janeiro de 2021.

GIAROLA, R. S.; COELHO, T. S.; FERNANDES, M. A. R.; RIBEIRO, V. A. B.; YORIYAZ, H. **Quantificação do Efeito Anódico em simulação por Método de Monte Carlo (MCNP-5) de um aparelho de Raios X de radiodiagnóstico.** Revista Brasileira de Física Médica, v. 7, n. 3, p. 157-161, 2015. Disponível em: <
<https://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/265>>. Acesso em 16 de janeiro de 2021.

KATZ, Z. **Estudo de metodologias econômicas e multiparamétricas aplicadas a decisão de substituição de equipamentos médicos.** 1998. 102f. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas, 1998. Disponível em:
<<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/260200>>. Acesso em: 24 de novembro de 2020.

Manual do Usuário. Desenvolvido por Sawae Tecnologia LTDA, 2017. Disponível em:
<https://transparencia.feluma.edu.br/wp-content/uploads/2018/04/Manual_Lote04_Sawae_072017.pdf>. Acesso em 07 de dezembro de 2020.

MARCIANO, M. A. **REPLACEMENT METHODS OF BIOMEDICAL EQUIPMENT.** In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA, 2016, Foz do Iguaçu. XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA, 2016.

MARCIANO, M. A.; SOUZA, E. K. **APPLICATION OF MULTIPARAMETER METHOD AS AID TO THE REPLACEMENT OF BIOMEDICAL EQUIPMENT.** In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA, 2016, Foz do Iguaçu. XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA, 2016.

MARQUES, N.; BULHÕES, L. **Uma abordagem histórica sobre a interação da radiação com a matéria.** Revista Educar Mais, v. 3, n. 2, p. 219-229, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.15536/reducarmais.3.2019.219-229.1517>>. Acesso em: 6 de dezembro de 2020.

Multix Impact. Desenvolvido por Siemens Healthineers. Disponível em: <https://www.siemens-healthineers.com/br/radiography/digital-x-ray/multix-impact>. Acesso em 11 de janeiro de 20201.

NASCIMENTO M. A.; TANAKA H. **Análise e mapeamento do custo de manutenção de equipamentos médicos no estado de São Paulo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA, 2014. Uberlândia. Anais... Uberlândia: Sociedade Brasileira de Engenharia Biomédica, p.701-704, 2014.

NAVARRO, M.V.T. **Evolução tecnológica do radiodiagnóstico**. In: Risco, radiodiagnóstico e vigilância sanitária. Salvador: EDUFBA, 2009, p. 31-36.

OLIVEIRA, V. C. M. **Metodologia de priorização de equipamentos medico-hospitalares em programas de manutenção preventiva**. 2004. 89f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Eletrica e de Computação, Campinas, 2004. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/261842>>. Acesso em: 30 de novembro de 2020.

PACHECO, A.; PIMENTEL, A. B.; RODRÍGUEZ, R; ORTIZ, M.; SALAZAR, R. **Metodología para evaluación de Equipo Biomédico**. Bioingeniería y Física Médica Cubana, 2002.

PEREIRA, D. M. **Determinação do período ótimo de substituição de equipamento médico de alta complexidade por meio de análise de obsolescência**. 2017. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/25588>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2021.

PEREIRA, R. **Equipamentos Radiológicos**. 2013.

Portaria nº 453, de 1º de junho de 1998. Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde. Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico. Portaria nº 453, de 1º de junho de 1998. Diário Oficial da União, Brasília, Brasil, 1998.

O que é a TIR e como calcular. Desenvolvido por Dicionário Financeiro. Disponível em: <<https://www.dicionariofinanceiro.com/tir-taxa-interna-retorno/>>. Acesso em: 31 de janeiro de 2021.

O que é VPL e como calcular. Desenvolvido por Dicionário Financeiro. Disponível em: <<https://www.dicionariofinanceiro.com/valor-presente-liquido/>>. Acesso em: 31 de janeiro de 2021.

Quanto ganha um radiologista? Desenvolvido por Orientu, 2020. Disponível em: <<https://orientu.com.br/blog/salarios/quanto-ganha-um-radiologista/#:~:text=O%20sal%C3%A1rio%20m%C3%A9dio%20do%20m%C3%A9dico,jornada%20de%2022%20horas%20semanais>>. Acesso em: 19 de janeiro de 2021.

Raio X Analógico. Desenvolvido por Konica Minolta, 2019. Disponível em: <<https://www.konicaminoltahc.com.br/Raios-X-analogico/>>. Acesso em: 12 de dezembro de 2020.

RAJASEKARAN, D. **Development of an automated medical equipment replacement planning system in hospitals**. In: Bioengineering Conference, Hoboken, 2005. Proceedings of the IEEE 31st Annual Northeast, p. 52-53, 2005.

S. L. Grimes, F. R. Painter. **Equipment Replacement Planning**. Gestão de Tecnologias Médico-Hospitalares e Workshop Engenharia Clínica, Florianópolis, 2006.

SUASSUNA, A. DE O. B. **Treinamento em Equipamento Médico- Hospitalar: Do Curso à Avaliação. 2017. 58 f.** Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Biomédica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em: < <https://eb.ct.ufrn.br/wp-content/uploads/2019/03/Alice-Suassuna.pdf>>. Acesso em: 21 de dezembro de 2020.

Suporte do Office. Desenvolvido por Microsoft. Disponível em: <https://support.microsoft.com/pt-br/office/>. Acesso em 15 de janeiro de 2021.

SVIECH, V.; MANTOVAN, E. A. **Análise de investimentos: controvérsias na utilização da TIR e VPL na comparação de projetos**. Revista Eletrônica Percurso,

v. 1, n. 13, 2013. Disponível em: <<http://revista.unicuritiba.edu.br/index.php/percurso/article/view/657>>. Acesso em 13 de janeiro de 2021.

Tabela ISS SP 2019. Desenvolvido por Conube Contabilidade Online, 2020. Disponível em: <<https://conube.com.br/blog/tabela-iss-sp/>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2021.

TABELA SUS REFERÊNCIA SETEMBRO 2018. Disponível em: <https://www.cisamusep.org.br/uploads/credenciamento/86_Tabela_SUS_referencia-SETEMBRO_2019.pdf>. Acesso em 19 de janeiro de 2021.

Taxas de Juros. Desenvolvido por Caixa Econômica Federal, 2020. Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/voce/credito-financiamento/taxasreduzidas/Paginas/default.aspx>>. Acesso em 15 de janeiro de 2021.

Valor Futuro. Desenvolvido por Mais Retorno, 2020. Disponível em: <https://maisretorno.com/porta1/termos/v/valor-futuro>. Acesso em 19 de janeiro de 2021.

VPL R TIR. Desenvolvido por Eugênio Carlos Stieler, 2009. Disponível em: <http://www2.unemat.br/eugenio/vpl_planilha.html>. Acesso em: 30 de janeiro de 2021.

APÊNDICE A

Data	
Data	07/02/2021
Previsão da entrega	mai-21

Valor	
Valor Nacionalizado USD	\$ 110.000
Valor Nacionalizado BRL	R\$ 594.000,00
Câmbio	R\$ 5,40

Sinal	50%	R\$ 297.000
Valor Financiado		R\$ 297.000
# de parcelas (meses)	60	
Valor da Parcela		R\$ 9.734,48
Carência (anos/meses)		2
Juros (a.m.)		2,29%
Juros (a.a.)		31,2%

Investimentos Iniciais	
Obra da Sala	R\$ 10.000,00
Quadro de Força	R\$ 8.000,00
Controle de temperatura e umidade	R\$ 5.500,00
Ar-Condicionado	R\$ 2.000,00
No Break	R\$ 1.000,00
Sinal	R\$ 297.000,00
Total	R\$ 323.500,00

Custos Fixos	
Financiamento	R\$ 9.734,48
Consumo Total	R\$ 2.000,00
Aluguel	R\$ 15.000,00
Médico Radiologista	R\$ 12.000,00
Técnico Radiologista	R\$ 8.000,00
Funcionários	R\$ 4.000,00
Contrato de Manutenção	R\$ 10.000,00

Imposto	2%
---------	----

Volumetria de Exames			
Volume mensal (média)			
Atendimento	SUS	Convênio	Particular
Exames	40	80	60

Valor dos Exames			
Valor mensal (médio)			
Atendimento	SUS	Convênio	Particular
Valor (R\$)	R\$ 600,00	R\$ 3.600,00	R\$ 5.400,00
Valor (R\$)/ exame	R\$ 15,00	R\$ 45,00	R\$ 90,00

Garantia	
Garantia (meses)	12

Figura 32 – Premissas Utilizadas na Ferramenta para Análise da Viabilidade Financeira Aplicada no Estudo de Caso.
Fonte: o autor.

Receita									
Valor (R\$)		SUS	Convênio	Particular			SUS	Convênio	Particular
		R\$ 15,00	R\$ 45,00	R\$ 90,00					
Crescimento		0	8%	6%			VOLTAR		
	Quantidade de exames hoje	40,00	80,00	60,00					
	Quantidade de exames no futuro	40,00	86,40	63,60					
Ano 1	Volume mensal (média)	TOTAL			Receita (mês)		TOTAL		
	40	80	60	180	R\$ 7.200,00	R\$ 43.200,00	R\$ 64.800,00	R\$ 115.200,00	
Ano 2	Volume mensal (média)	TOTAL			Receita (mês)		TOTAL		
	40	86,4	63,6	190	R\$ 7.200,00	R\$ 46.656,00	R\$ 68.688,00	R\$ 122.544,00	
Ano 3	Volume mensal (média)	TOTAL			Receita (mês)		TOTAL		
	40	93,312	67,416	201	R\$ 7.200,00	R\$ 50.388,48	R\$ 72.809,28	R\$ 130.397,76	
Ano 4	Volume mensal (média)	TOTAL			Receita (mês)		TOTAL		
	40	101	71	212	R\$ 7.200,00	R\$ 54.419,56	R\$ 77.177,84	R\$ 138.797,40	
Ano 5	Volume mensal (média)	TOTAL			Receita (mês)		TOTAL		
	40	109	76	225	R\$ 7.200,00	R\$ 58.773,12	R\$ 81.808,51	R\$ 147.781,63	
Ano 6	Volume mensal (média)	TOTAL			Receita (mês)		TOTAL		
	40	118	80	238	R\$ 7.200,00	R\$ 63.474,97	R\$ 86.717,02	R\$ 157.391,99	
Ano 7	Volume mensal (média)	TOTAL			Receita (mês)		TOTAL		
	40	127	85	252	R\$ 7.200,00	R\$ 68.552,97	R\$ 91.920,04	R\$ 167.673,01	
Ano 8	Volume mensal (média)	TOTAL			Receita (mês)		TOTAL		
	40	137	90	267	R\$ 7.200,00	R\$ 74.037,21	R\$ 97.435,24	R\$ 178.672,45	
Ano 9	Volume mensal (média)	TOTAL			Receita (mês)		TOTAL		
	40	148	96	284	R\$ 7.200,00	R\$ 79.960,19	R\$ 103.281,36	R\$ 190.441,54	
Ano 10	Volume mensal (média)	TOTAL			Receita (mês)		TOTAL		
	40	160	101	301	R\$ 7.200,00	R\$ 86.357,00	R\$ 109.478,24	R\$ 203.035,24	

Figura 33 - Receitas Aplicadas no Estudo de Caso.
Fonte: o autor.

Custos fixos desdobrados												
	Ano 1											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	fev/21	mar/21	abr/21	mai/21	jun/21	jul/21	ago/21	set/21	out/21	nov/21	dez/21	jan/22
Financiamento	-	-	-	-	-	9.734	9.734	9.734	9.734	9.734	9.734	9.734
Funcionários	-	-	-	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
Consumo Total	-	-	-	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Aluguel	-	-	-	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
Médico Radiologista	-	-	-	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000
Técnico Radiologista	-	-	-	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Contrato de Manutenção	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	41.810	41.810	51.544	51.544	51.544	51.544	51.544	51.544	51.544

Figura 304 - Custos Fixos Desdobrados Aplicado ao Estudo de Caso.
Fonte: o autor.

Fluxo												
	Ano 1											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	mai/21	jun/21	jul/21	ago/21	set/21	out/21	nov/21	dez/21	jan/22	fev/22	mar/22	abr/22
(BRL) Receita Bruta	115.200	115.200	115.200	115.200	115.200	115.200	115.200	115.200	115.200	115.200	115.200	115.200
(%) Impostos	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
(BRL) Impostos	2.304	2.304	2.304	2.304	2.304	2.304	2.304	2.304	2.304	2.304	2.304	2.304
(BRL) Lucro Bruto	112.896	112.896	112.896	112.896	112.896	112.896	112.896	112.896	112.896	112.896	112.896	112.896
(%) Margem Bruta	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%
(BRL) Custos Fixos	365.310	41.810	51.544	51.544	51.544	51.544	51.544	51.544	51.544	51.544	51.544	51.544
(BRL) Lucro Líquido	-	252.414	71.086	61.352	61.352	61.352	61.352	61.352	61.352	61.352	61.352	61.352
(%) Lucro Líquido	-	-219%	62%	53%	53%	53%	53%	53%	53%	53%	53%	53%
(BRL) Fluxo de caixa acumulado	-	181.328	119.976	58.625	2.727	64.078	125.438	186.781	248.133	309.484	370.836	432.187
		N	N	N	N	N	N	N	N	N	P	P
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Figura 31 - Fluxo Aplicado no Estudo de Caso.
Fonte: o autor.

Fluxo - Ano												
	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	
(BRL) Receita Bruta		R\$ 1.382.400,00	R\$ 1.470.528,00	R\$ 1.564.773,12	R\$ 1.666.568,74	R\$ 1.773.379,56	R\$ 1.888.703,88	R\$ 2.012.076,11	R\$ 2.144.069,39	R\$ 2.285.298,48	R\$ 2.436.422,84	
(%) Impostos		2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	
(BRL) Impostos		R\$ 27.648,00	R\$ 29.410,56	R\$ 31.295,46	R\$ 33.311,37	R\$ 35.467,59	R\$ 37.774,08	R\$ 40.241,52	R\$ 42.881,39	R\$ 45.705,97	R\$ 48.728,46	
(BRL) Lucro Bruto		R\$ 1.354.752,00	R\$ 1.441.117,44	R\$ 1.533.477,66	R\$ 1.632.257,37	R\$ 1.737.911,97	R\$ 1.850.929,81	R\$ 1.971.834,59	R\$ 2.101.188,00	R\$ 2.239.592,51	R\$ 2.387.694,38	
(%) Margem Bruta		98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	
(BRL) Custos Fixos		R\$ 922.564,79	R\$ 738.533,75	R\$ 738.533,75	R\$ 738.533,75	R\$ 709.330,31	R\$ 621.720,00	R\$ 621.720,00	R\$ 621.720,00	R\$ 621.720,00	R\$ 466.290,00	
(BRL) Lucro Líquido	-R\$ 252.414,00	R\$ 684.601,21	R\$ 702.583,69	R\$ 794.943,91	R\$ 893.723,62	R\$ 1.028.581,66	R\$ 1.229.209,81	R\$ 1.350.114,59	R\$ 1.479.468,00	R\$ 1.617.872,51	R\$ 2.056.227,09	
(%) Lucro Líquido		50%	48%	51%	54%	58%	65%	67%	69%	71%	84%	
(BRL) Fluxo de caixa acumulado	0	R\$ 432.187,21	R\$ 1.134.770,90	R\$ 1.929.714,81	R\$ 2.823.438,43	R\$ 3.852.020,09	R\$ 5.081.229,90	R\$ 6.431.344,48	R\$ 7.910.812,49	R\$ 9.528.685,00	R\$ 11.584.912,09	

Figura 326 - Fluxo ao Longo do Período de 10 anos do Estudo de Caso.
Fonte: o autor.